Fundación Universitaria Compensar
Av Carrera 68 No. 68 B – 45
Bogotá, Bogotá, D.C
3 de diciembre de 2024

Paula Andrea Betancur Cruz
Líder HSEQ
Elite Facility
Calle 71 No. 72A – 41
Bogotá D.C.

Estimado(a) Paula Andrea

Me permito dirigirme a usted en mi calidad de director del Proyecto de Investigación titulado **Sistema para la prevención de lesiones en entornos laborales y deportivos: aplicación de IA, modelos biomecánicos y análisis de patrones de movimiento,** desarrollado por **la Fundación Universitaria Compensar,** con el objetivo de invitarles formalmente a comprometerse como aliados estratégicos en el marco de este importante esfuerzo colaborativo.

En este contexto, solicitamos que, como parte de su valiosa contribución, se comprometan a:

1. **Aportar un valor en especie equivalente a treinta (30) personas operativas y 5 personas administrativas como población de estudio hacia el riesgo biomecánico,** el cual será utilizado exclusivamente para alcanzar los objetivos del proyecto.
2. Entregar los siguientes documentos y recursos:
    - **Certificación de Secreto empresarial a los que cobre lugar:** Se considera secreto empresarial cualquier información no divulgada que una persona natural o jurídica legítimamente posea, que pueda usarse en alguna actividad productiva, industrial o comercial, y que sea susceptible de transmitirse a un tercero. El secreto industrial o empresarial ha sido definido por la doctrina como el conocimiento reservado sobre ideas, productos o procedimientos industriales que el empresario, por su valor competitivo para la empresa, desea mantener oculto. Dicha información, de acuerdo con la Decisión 486 de 2000 del régimen común sobre propiedad industrial de la comisión de la Comunidad Andina, puede estar referida a la naturaleza, características o finalidades de productos, métodos o procesos de producción, o medios o formas de distribución o comercialización de productos, o prestación de servicios. Para que exista un secreto empresarial es necesario que la información determinada tenga las siguientes características: 1. Sea secreta, en el sentido que como conjunto o en la configuración y reunión precisa de sus componentes, no sea generalmente conocida, ni fácilmente accesible por quienes se encuentran en los círculos que normalmente la manejan. 2. Tenga un valor comercial por ser secreta. 3. Haya

sido objeto de medidas razonables tomadas por su legítimo poseedor para mantenerla secreta.

Conforme a lo señalado, si una persona posee una información que reúna las características anotadas, la misma estará protegida contra su divulgación, adquisición o uso no autorizado. (Min ciencias, 2024. Pág. 73). **Para ello, se solicita un documento que contenga:** Secreto empresarial, Nombre del producto o proceso comercializado, Valor del contrato, Certificación de la institución firmada por el representante legal en la cual conste que se ha tomado las medidas necesarias para evitar que se divulgue o propague esta información entre sus competidores. Número del contrato de licenciamiento.

- **Certificación de Innovación generada en la gestión empresarial - A1 a los que cobre lugar:** Son los métodos, productos y herramientas aplicadas en las empresas -ya sea en el ámbito organizacional o comercial- que constituyen o se convierten en un elemento novedoso que genera beneficios tangibles para la empresa. Para el modelo de medición, se entiende, también, que son innovaciones generadas en los grupos de investigación en el marco de un proyecto aprobado por convocatorias del SNCTI y que poseen certificado de su implementación, en una o varias empresas. (Minciencias, 2024. Pág. 75). **Para ello, se solicita un documento que contenga:** Nombre de la innovación, Fecha, Autor(es), Certificados de implementación en pequeñas, medianas y grandes empresas (el certificado lo expide el representante legal de la empresa), Título del Proyecto aprobado en convocatorias del SNCTI, NIT o código de registro tributario si la empresa radica fuera de Colombia, Nombre de la empresa, Documento especificando tamaño según la ley, Certificación del producto por parte de la entidad que pertenece al SNCT+I. (Certificado de la Universidad).

- **Certificación de Talleres de creación - Evento local a los que cobre lugar:** Laboratorio de enseñanza y aprendizaje experiencial para el uso de la herramienta tecnológica desarrollada. **Para ello, se solicita un documento que contenga:** Organización o participación, Nombre del evento, Fecha de inicio y fecha de finalización, Nombre de participante(s) u organizador(es)participante(es), Instituciones o entidades gestoras o patrocinadoras, Lugar de realización del evento, Certificado que haga explícito que el Taller se sometió al siguiente proceso: Mecanismos de interacción del taller de manera simultánea virtual y presencial.

- **Certificación de Consultoría científicas-tecnologías a las que cobre lugar:** Se entenderá como consultoría científica y tecnológica a, "[…] estudios requeridos para la ejecución de un proyecto de inversión o para el diseño de planes y políticas de ciencia o tecnología, a estudios de diagnóstico, prefactibilidad y factibilidad para programas o proyectos científicos o tecnológicos, a la evaluación de proyectos de ciencia o tecnología, así como el diseño de sistemas de información y servicios de procesamiento de datos de ciencia o tecnología y las asesorías técnicas y de coordinación de proyectos y programas de ciencia y tecnología". En estas consultorías, se incluyen aquellos

estudios que son el resultado de procesos de investigación que sirven para la toma de decisiones en el Estado y validados por una agremiación o sociedad científica. (Minciencias, 2024. Pág. 89). **Para ello, se solicita un documento que contenga:** Documento donde se relacione: Título de la consultoría, Número de Contrato o documento que soporta la realización de la consultoría, Fecha en que se prestó la consultoría, Certificación de la empresa o entidad sobre el objeto y la calidad de la consultoría prestada.

Estos compromisos son fundamentales para asegurar el éxito de las actividades planificadas y para garantizar que los resultados generados tengan el impacto esperado en la sociedad.

Agradecemos profundamente su disposición para apoyar esta iniciativa. Su contribución no solo fortalece nuestra capacidad de investigación, sino que también refuerza los lazos de colaboración entre nuestras organizaciones.

Favor de firmar esta carta como señal de aceptación y compromiso, devolviéndola a la dirección indicada anteriormente.

Sin más por el momento, quedo a su disposición para cualquier duda o aclaración.
Atentamente,

Luis Guillermo Molero Suárez
Director del Proyecto
Fundación Universitaria Compensar
Correo electrónico: lmolero@ucompensar.edu.co

Acepto los términos y condiciones establecidos en este documento:

Firma:



Nombre: Paula Andrea Betancur Cruz
Cargo: Líder HSEQ
Organización: ELITE FACILITY MANAGEMENT
Fecha: 09/12/2024

Bogotá, mayo 7 de 2026

Señores
Fundación Universitaria Compensar
Bogotá

Asunto: Certificación de Secreto Empresarial

En mi calidad de representante legal de **Elite Facility Management SAS**, identificada con N.I.T 800.067.956-6, certifico que el producto o proceso denominado **Sistema VR para la prevención de lesiones en entornos laborales**, corresponde a un resultado de investigación, desarrollo tecnológico e innovación clasificado como Secreto Empresarial, y su descripción breve se deriva en un software de realidad virtual para dispositivos móviles para la capacitación en cuidados; y, el cual fue desarrollado por:

Luis Guillermo Molero Suárez
Grupo de Investigación GIIS
Fundación Universitaria Compensar

Wilmer Geovany Sepúlveda Manrique
Grupo de Investigación GIIS
Fundación Universitaria Compensar

Sergio Felipe Suárez Soto
Grupo de Investigación GIIS
Fundación Universitaria Compensar

Carlos Hugo Neiva reyes
Grupo de Investigación GIIS
Fundación Universitaria Compensar

Yully Cabra Sandoval
Lider HSEQ
Elite Facility Management SAS

Miguel Antonio Reyes
Coordinador HSEQ
Elite Facility Management SAS

La fecha de obtención, en la cual el producto alcanzó su estado final y entro en vigor el secreto es: 21 de noviembre de 2025

Así mismo, certifico que la institución ha tomado las medidas necesarias, razonables, verificables y proporcionales para garantizar la protección de la información confidencial, para evitar que se divulgue o propague esta información.

Entre las medidas tomadas, la institución ha adoptado la restricción de acceso a personal autorizado, la suscripción de acuerdos de confidencialidad, la implementación de controles tecnológicos de acceso y almacenamiento seguro, así como la protección física y documental de la información.

Cordialmente,



Diana Patricia Beltrán Pérez

C.C. 52.429.408

Representante Legal

Elite Facility Management SAS

Informe de Investigación

Desarrollo de aplicación de realidad virtual para capacitación laboral en prevención de lesiones por levantamiento de cargas

Autores:

Luis Guillermo Molero Suárez, Carlos Hugo Neiva Reyes, Wilmer Geovany Sepulveda Manrique, Sergio Felipe Suarez Soto, Diogo Rodríguez Bezerra

Estudiantes Semillero de Ingeniería Multimedia Creavinci:

Edgar Antonio López López, Andrés Felipe Morales Oviedo, Santiago Pacanchique Castaño, Julián Sánchez Pinzón, Daniel Eduardo Poveda González, Daniela Ramírez Dávila

Fundación Universitaria Compensar, Sede Bogotá, Facultad de Ingeniería,

Noviembre de 2025

Resumen

El presente informe describe el proceso de diseño y desarrollo de una aplicación de realidad virtual (VR) orientada a la prevención de riesgos en salud y seguridad en el trabajo (SST), dirigida específicamente a los operarios de bodega. El objetivo principal de esta iniciativa es fortalecer la capacitación en prácticas seguras dentro del entorno laboral, incrementando la conciencia preventiva y reduciendo la probabilidad de accidentes.

Para su construcción se empleó una metodología experimental, que incluyó la realización de pruebas piloto con trabajadores del área de almacén de insumos de aseo y cafetería de la empresa Elite Facility Management, ubicada en la ciudad de Bogotá. Estas pruebas permitieron validar la pertinencia de los contenidos, la usabilidad del sistema y la eficacia de los escenarios virtuales en la formación de los operarios.

Como parte del desarrollo, se llevó a cabo el levantamiento de un gemelo digital del espacio de bodega, así como de las herramientas e insumos de trabajo utilizados cotidianamente por los operarios. A partir de este modelado digital se construyó una aplicación de realidad virtual que permite simular situaciones de riesgo, aplicar protocolos de seguridad y recibir retroalimentación inmediata dentro de un entorno inmersivo y controlado.

El proyecto constituye una propuesta innovadora de formación en SST, que combina la precisión del gemelo digital con las ventajas de la realidad virtual, ofreciendo a las organizaciones una solución tecnológica adaptable, escalable y con alto potencial de impacto en la reducción de incidentes laborales y el cumplimiento normativo en seguridad y salud en el trabajo.

Palabras clave: Prevención de riesgos laborales, Capacitación virtual, Seguridad y salud en el trabajo (SST), Realidad virtual (VR), Tecnología háptica

Índice

Resumen 2
Introducción 4
Objetivos 6
Marco Teórico 8
Marco Conceptual 12
Metodología 14
Requerimientos Funcionales 19
Discusión 23
Conclusiones 26
Referencias Bibliográficas 30
Anexos 32

Introducción

En los diferentes ámbitos de la industria los trabajadores se enfrentan diariamente a trabajos físicos exigentes que, si no se ejecutan de forma adecuada, pueden desencadenar consecuencias físicas graves como lesiones musculoesqueléticas, fatiga crónica o accidentes laborales. Según informes de la Organización Internacional del Trabajo (OIT), millones de personas en el mundo sufren lesiones relacionadas con el esfuerzo físico mal gestionado, representando no solo un impacto en la salud de los empleados, sino también pérdidas económicas significativas para las empresas debido al ausentismo, disminución de la productividad y gastos médicos asociados (OIT, 2021).

Uno de los principales factores que contribuyen a este problema es la falta de formación práctica y personalizada sobre la manera correcta de ejecutar ciertas tareas. Aunque muchas compañías imparten cursos de capacitación o distribuyen manuales con instrucciones, la realidad es que estos métodos tradicionales suelen ser poco visuales, y/o didácticos (Feng et al, 2018). Frente a este contexto, las tecnologías inmersivas, particularmente la realidad virtual (RV) y aumentada (RA), emergen como una solución innovadora. La RA permite superponer información digital sobre el entorno físico del usuario, brindando una experiencia interactiva en tiempo real. Esto abre la posibilidad de diseñar aplicaciones que capaciten a los trabajadores usando su propio entorno laboral como herramienta de aprendizaje (Huamán et al, 2025). Por su parte, la realidad virtual permite la inmersión del usuario en escenarios digitales y la interacción con objetos y entornos simulados, permitiendo realizar labores de alto riesgo, antes de enfrentarse al escenario real (Scorgie et al, 2024).

En el ámbito del entrenamiento laboral, a través de aplicaciones de realidad virtual, se han implementado dispositivos hápticos que mejoran la experiencia de juego replicando escenarios y situaciones laborales con sustancias peligrosas, condiciones extremas o con riesgos de

seguridad; logrando de esta forma, simulaciones más realistas, con alta carga sensorial y la captura de datos en tiempo real que ostente con fin ulterior la mejorar en las condiciones laborales (Scorgie et al, 2024).

Por su parte, la OIT, en sus directrices para el trabajo decente, dedica un capítulo especial en la gestión de sistemas de trabajo en ergonomía de factores humanos (HFE). Este concepto, abarca no solo el diseño de espacios de trabajo adaptados a las proporciones humanas, sino también, al diseño y la gestión de sistemas de trabajo en todos los sectores y ocupaciones, "incluyendo enfoques para diseñar, implementar, validar y evaluar el rendimiento de los sistemas de trabajo para su mejora continua y sostenibilidad" (OIT, 2021).

Sin embargo, la integración de nuevas realidades en el entorno laboral con fines de entrenamiento laboral o capacitación aún es incipiente y presenta diversos retos: tecnológicos, de diseño y de adopción por parte del usuario. En primer lugar, es necesario modelar en 3D los objetos, movimientos, herramientas y contextos específicos de la empresa u organización. Además, la interfaz de la aplicación debe ser intuitiva y accesible, considerando que muchos trabajadores no tienen experiencia con este tipo de tecnologías. Finalmente, es esencial que el sistema funcione de forma fluida en tiempo real y en condiciones de campo, lo cual representa un desafío técnico adicional. Esta tecnología no sustituye al factor humano, sino que lo fortalece, ofreciendo un modelo de capacitación continua y personalizada directamente en el entorno laboral.

Por ello, surge la necesidad de desarrollar herramientas de realidad virtual y aumentada orientadas específicamente a la optimización de trabajos relacionados con levantamiento de cargas, explorando el potencial del modelado y la animación 3D como medio para representar instrucciones visuales claras y dinámicas. El presente estudio se propone contribuir a este campo, partiendo de la premisa de que es posible mejorar significativamente las condiciones de trabajo

mediante el uso de tecnologías inmersivas, adaptadas a las necesidades reales de los trabajadores.

Pregunta de investigación

¿Cómo la implementación de tecnologías inmersivas, específicamente la realidad aumentada y virtual, puede mejorar la capacitación en seguridad y salud en el trabajo en entornos industriales?

Objetivos

Objetivo General: Desarrollar una herramienta de capacitación basada en realidad virtual con el fin de reducir riesgos físicos y mejorar la eficiencia laboral en operarios de bodega de la empresa Elite Facility Management.

Objetivos específicos:

- Analizar mediante capturas de movimiento los principales factores ergonómicos y biomecánicos que inciden en las lesiones de operarios de bodega por levantamiento de cargas.
- Diseñar un sistema de realidad virtual que integre infografías, videos y animaciones 3D interactivas para instruir a los trabajadores en técnicas seguras de levantamiento de cargas y buenas prácticas de seguridad y salud en el trabajo.
- Evaluar la efectividad del sistema desarrollado mediante pruebas en campo, considerando la usabilidad, la comprensión de las instrucciones y la reducción de errores en la ejecución de las tareas.

Alcances del estudio

El proyecto tiene como objetivo diseñar, desarrollar y probar un prototipo de software que integre el uso de realidad virtual y aumentada para la capacitación de operarios de bodegaje en buenas

prácticas de seguridad y salud en el trabajo, con especial énfasis en levantamiento de cargas, para evitar lesiones musculoesqueléticas. Este prototipo se compone de una primera fase donde se utiliza la realidad virtual en la construcción de un gemelo digital de la bodega de insumos y maquinaria de aseo y cafetería de la empresa aliada Elite Facility Management en Bogotá, el cual permitirá la capacitación de los operarios en buenas prácticas y recomendaciones de salud postural desde el reconocimiento de las diferentes actividades a desarrollar en el entorno de trabajo.

Una segunda fase consiste en el análisis de movimientos de los operarios por medio de la captura de datos con el uso del traje háptico TeslaSuit (Teslasuit, 2023) y a partir del análisis de los mismos, determinar las variables de tiempo, repeticiones, pesos o posturas que pueden incurrir en riesgos de lesión para los operarios, y a través de marcadores de realidad aumentada poder visualizar las animaciones 3D del comparativo de movimientos correcta e incorrectamente ejecutados.

La interfaz del sistema está diseñada para un uso intuitivo. Permitirá a los usuarios reconocer su espacio laboral, recibir recomendaciones de seguridad e higiene postural dependiendo el área o tarea a ejecutar dentro de las instalaciones, visualizar las animaciones comparativas de buenas prácticas de levantamiento de cargas mediante realidad aumentada.

El sistema debe ser compatible con dispositivos móviles con sistema operativo *Android* y con equipos de cómputo con sistema operativo *Windows*.

Como entorno de desarrollo se utilizó *Unity Engine* y *Vuforia,* para el modelado de los objetos, escenarios y animaciones se utilizó *Autodesk Maya* y para la captura de movimiento el software el *Control Center* y *Editor Studio* de TeslaSuit.

El proyecto se estima con una viabilidad del 90%, debido a su integración con tecnologías existentes, la integración de nuevos dispositivos de medición como el traje háptico TeslaSuit, la

disposición de la empresa aliada para la realización del estudio previo al desarrollo y el trabajo multidisciplinar de los autores.

Marco Teórico

Ergonomía y factores humanos en la seguridad y salud en el trabajo

La Organización Internacional del Trabajo (OIT) y la Asociación Internacional de Ergonomía (AIE) en la búsqueda garantizar la política de trabajo decente en las organizaciones, publicaron en 2021 la guía técnica de principios y directrices para el diseño y la gestión de sistemas de trabajo basados en factores humanos/ergonomía (HFE), (OIT, 2021).

En esta guía se esbozan cinco requisitos previos fundamentales como pilares fundamentales para el diseño y la gestión de sistemas de trabajo HFE, con el objetivo de "garantizar la seguridad y la salud de los trabajadores y mejorar la eficacia y la sostenibilidad de los trabajadores y de la organización" (OIT, 2021, p. 3), los cuáles se aplican en todos los sectores y ocupaciones. Estos requisitos son: "los seres humanos como activos, la tecnología como herramienta para ayudar a los seres humanos, la promoción de la calidad de vida, el respeto de las diferencias individuales, la promoción del diálogo social y la responsabilidad para con todas las partes interesadas" (OIT, 2021, p. 3).

Según la OIT, los riesgos de mantener en el espacio laboral herramientas inadecuadas o una inapropiada capacitación para el manejo de estas, o la ausencia de controles que garanticen su desempeño eficiente, pueden acarrear consecuencias como "lesiones debido a un diseño deficiente de la herramienta, pérdida de producción debido a errores de calidad, errores causados por dolor, fatiga, postura inadecuada, necesidad de reentrenamiento, ausentismo y baja moral, aumento de los costes de mantenimiento y reparación" (OIT, 2021, p. 15).

Por el contrario, los beneficios de proporcionar las herramientas, la capacitación y el control adecuados: "mejora del rendimiento y la calidad del trabajo, reduce de la tasa de

desperdicio, mejora de la salud, la seguridad, el bienestar y la productividad de los trabajadores y el aumento de la eficacia organizativa" (OIT, 2021, p. 15).

Por lo tanto, se recomienda considerar la carga de trabajo estimada requerida para realizar una tarea, así como las diferencias individuales en la capacidad de carga antes de realizar el diseño; asegurar que la introducción de herramientas tecnológicas se produzca junto con la formación sobre su uso y no aumente el estrés físico o cognitivo. También se recomienda considerar los factores ambientales, económicos, sociopolíticos y culturales que pueden afectar la capacidad y la sostenibilidad de los trabajadores, así como incorporar las evaluaciones de riesgos de HFE en las auditorías de seguridad de la organización (OIT, 2021, p. 16).

Tecnología Háptica en Entornos Educativos y de Formación

El uso de la tecnología háptica ha cambiado los métodos de enseñanza de revoluciones mediante la creación de un entorno virtual circundante que permite a los estudiantes interactuar con el contenido digital tangible. Esta herramienta innovadora es particularmente importante en la educación vocacional, ya que prefiere obtener habilidades prácticas indispensables para desarrollar habilidades laborales especiales (Gutiérrez, 2022).

Al integrar la realidad virtual con revisiones hápticas, puede crear escenarios de entrenamiento personal que se adapten a las necesidades de cada estudiante, dando a cada individuo la oportunidad de cambiar a su propio ritmo y de acuerdo con su estilo de aprendizaje. Se traduce en una experiencia educativa mucho más efectiva que los métodos tradicionales (Gutiérrez, 2022).

Los dispositivos hápticos atraviesan motores o actuadores pequeños, que genera vibraciones con frecuencias ajustables y amplitud a altas velocidades para modelar diferentes sensaciones táctiles. Esta capacidad de restaurar la experiencia física permite a los estudiantes

vivir en un entorno de trabajo real, lo que de otro modo sería difícil de reproducir mediante métodos convencionales. Por lo tanto, la transferencia del conocimiento teórico facilita el uso práctico en el campo profesional.

Realidad virtual aplicada a capacitación o entrenamiento laboral.

La formación en seguridad en ambientes laborales “desempeña un papel clave en la mejora de las capacidades y habilidades de los seres humanos para identificar riesgos y analizar la magnitud de estos riesgos” (Scorgie et al, 2024). Uno de los principales objetivos de capacitar al personal en seguridad laboral es salvaguardar la integridad y la vida de estos, así como minimizar las consecuencias a nivel operativo y de índole económica que pueden acarrear los posibles incidentes. Tradicionalmente, dichas capacitaciones se dan a los trabajadores a través de cartillas impresas, videos informativos, charlas o simulacros, que muchas veces no permiten medir el aprendizaje efectivo por falta de una pedagogía que permita retroalimentar y evaluar la respuesta de los usuarios (Feng et al, 2018).

El uso de aplicaciones de realidades virtual, aumentada y mixta ayudan a mejorar la formación en seguridad en el trabajo, para minimizar riesgos, evitar daños o pérdida de vidas en ambientes laborales de alto riesgo como la minería, la industria de la construcción, la aviación, entre otras. Según el estudio de Scorgie et al, (2024), donde se analiza la eficiencia de la adquisición y retención de conocimientos durante sesiones de capacitación laboral con el uso de realidad virtual, ésta supera a la capacitación tradicional en lo que a aprendizaje a corto plazo refiere.

La realidad virtual permite la creación de entornos de simulación que trasladan procesos industriales y situaciones reales a espacios controlados desde la virtualidad. Este recurso "ha demostrado ser una forma adecuada de reducir los tiempos de formación, prevenir errores o incluso mejorar la calidad de los productos" (Lorduy y Naranjo, 2020). La realidad virtual,

entonces, surge como una alternativa de bajo costo para la capacitación en el uso de equipos especializados, ya que permite a los usuarios un proceso de aprendizaje inmersivo, interactivo e innovador, que contrasta con la enseñanza tradicional, cuya monotonía puede generar rechazo y baja motivación (Lorduy y Naranjo, 2020).

Según estudio realizado por Kačerová et al (2022), los trastornos musculoesqueléticos son algunos de los trastornos laborales más frecuentes, por esta razón, los empleadores de todo el mundo pagan altos costos por su tratamiento y prevención. Como resultado presentan un método innovador para diseñar un lugar de trabajo ergonómico. Dicho método “utiliza nuevas tecnologías y apoya no solo la ergonomía, sino también una mejora general en el diseño del proceso de fabricación”. Afirma además que, aunque existe un enorme potencial para utilizar nuevas tecnologías disruptivas como la realidad virtual y la captura de movimiento en ergonomía, “todavía falta una base metodológica integral para implementar estas tecnologías” (Kačerová et al, 2022).

Algunos de los campos de mayor recurrencia en las capacitaciones que utilizan realidad virtual es el de la construcción y el manejo de incendios, de los cuáles, entre los resultados de aprendizaje más comunes se encuentran “el reconocimiento de peligros, las acciones de seguridad y el uso de equipos, a menudo combinados con retroalimentación inmediata para mejorar la adquisición de conocimientos y la autoeficacia” (Scorgie et al, 2024). En este mismo estudio se resalta la evolución y diversificación de los campos de entrenamiento laboral mediados por realidad virtual, al expandirse a áreas como la aviación, la minería, la movilidad peatonal, la atención de terremotos; "mientras que algunos estudios desarrollaron y probaron la realidad virtual para la capacitación en laboratorio, electricidad, botes salvavidas, túneles, productos químicos, fugas de gas y seguridad en el lugar de trabajo" (Scorgie et al, 2024).

Marco Conceptual

Tecnología háptica y captura de movimiento

La captura de movimiento es una técnica que permite registrar el desplazamiento del cuerpo humano en tiempo real a través de sensores colocados estratégicamente en el cuerpo del usuario. En este proyecto se emplea un traje háptico de cuerpo completo (TeslaSuit, 2023), que no solo registra el movimiento, sino también datos biométricos como la aceleración, la fuerza aplicada y la dirección de los movimientos. Este tipo de tecnología es ampliamente utilizado en biomecánica, rehabilitación, animación y realidad virtual, ya que permite estudiar con precisión las dinámicas físicas del cuerpo humano (Cárdenas y Paredes, 2021).

Modelado 3D y gemelos digitales

El modelado 3D es el proceso de crear representaciones tridimensionales de objetos o entornos mediante software especializado. Este proceso transforma datos en modelos visuales con profundidad, textura y realismo, lo cual es esencial en campos como el diseño industrial, la medicina y la ingeniería (De la Torre et al, 2012). Existen diversas técnicas de modelado, como el modelado poligonal, por NURBs, modelado sólido, que permiten construir estructuras desde formas básicas hasta modelos anatómicos detallados.

El concepto de gemelo digital se refiere a la creación de una réplica virtual de un objeto, sistema o entorno del mundo real. En el contexto laboral, un gemelo digital permite simular las condiciones físicas de una fábrica o estación de trabajo, analizar dinámicas de movimiento y evaluar posibles riesgos ergonómicos. La simulación de actividades dentro de un entorno 3D facilita la visualización de zonas de riesgo y permite proponer cambios para mejorar la ergonomía y reducir accidentes laborales, mediante la integración de datos del mundo real, inteligencia artificial y modelos matemáticos (Miyagi, 2022).

Realidad Virtual

La realidad virtual (RV) es una tecnología que permite a los usuarios interactuar directamente con entornos tridimensionales (3D), proporcionando experiencias inmersivas mediante hardware especializado, como visores y sensores de movimiento. Al generar una mayor sensación de presencia, la RV facilita la interacción directa con objetos digitales dentro de entornos simulados (Samala et al, 2025).

Realidad Aumentada

La realidad aumentada (RA) es una tecnología que permite superponer información digital —como imágenes, sonidos, animaciones o datos— sobre el entorno físico del usuario en tiempo real, mejorando la percepción y la interacción con el mundo real mediante dispositivos como smartphones, tabletas o gafas inteligentes (Velásquez et al, 2025). En el ámbito industrial y educativo, la RA se utiliza para capacitar a trabajadores en tareas complejas, proporcionando instrucciones visuales directamente en su campo de visión. Esto permite reducir errores, mejorar la retención del conocimiento y aumentar la seguridad en entornos de riesgo (IEA, 2023).

Ergonomía y prevención de lesiones laborales

Según la IEA, la ergonomía es “la disciplina científica que se ocupa de comprender las interacciones entre los seres humanos y otros elementos de un sistema, así como la profesión que aplica teorías, principios, datos y métodos de diseño con el fin de optimizar el bienestar humano y el rendimiento global del sistema” (IEA, 2023). La ergonomía, por lo tanto, busca adaptar las condiciones del entorno de trabajo a las características fisiológicas y psicológicas del ser humano. Uno de los objetivos principales es prevenir lesiones musculoesqueléticas causadas por movimientos repetitivos, esfuerzo físico excesivo o posturas incorrectas (IEA, 2023).

Metodología

El proyecto se desarrolló bajo un enfoque metodológico mixto, que combina técnicas cualitativas y cuantitativas para obtener un análisis integral del comportamiento físico de los trabajadores en sus entornos laborales. El enfoque cuantitativo se emplea en la recolección y análisis de datos biométricos y de movimiento, mientras que el enfoque cualitativo se aplicará en la observación directa, entrevistas breves y análisis del entorno físico de la fábrica.

Diseño: Este proyecto se clasifica como una investigación aplicada, ya que busca dar solución a una problemática concreta: la prevención de lesiones musculoesqueléticas a través de herramientas tecnológicas. Asimismo, se enmarca en el diseño experimental, al utilizar tecnologías de captura de movimiento, modelado 3D y realidad aumentada para intervenir directamente en el entorno laboral.

Se realizó un diagnóstico de las actividades y movimientos repetitivos que ejecutan los operarios de bodega para identificar los posibles riesgos de lesiones. Se realizaron capturas de movimiento mediante el uso de Traje háptico TeslaSuit. Se diseñaron escenarios virtuales a manera de gemelo digital de la bodega, que simulan tareas de levantamiento de carga. Se utilizó Unity para el desarrollo de la aplicación de realidad virtual. Se aplicaron encuestas pre y post entrenamiento a los operarios de bodega.

Técnicas e instrumentos

Captura de movimiento: Se utilizó el traje háptico (TESLASUIT) que permite registrar con alta precisión los movimientos, posturas, fuerza y repetición de acciones realizadas por los operarios durante sus labores. Esta información se procesará para identificar patrones de riesgo.

Observación directa: Se realizaron cuatro visitas al almacén de insumos y maquinaria de aseo y cafetería, para observar los movimientos cotidianos de los trabajadores y registrar mediante video y fotografías los espacios físicos para ser replicados digitalmente.

Entrevistas no estructuradas: Se aplicaron a operarios para comprender mejor las tareas que realizan, sus dolencias frecuentes y su percepción sobre la ergonomía en el trabajo.

Modelado 3D: A partir de los datos recolectados, se desarrollaron modelos tridimensionales de los operarios y del entorno laboral. Estos se integran en una simulación interactiva, generando un gemelo digital que sirve como base para la herramienta de realidad aumentada.

Desarrollo de la aplicación VR/AR: Se utilizaron software de desarrollo Unity para integrar los modelos animados con la plataforma de realidad virtual. El uso de marcadores permite activar diferentes escenarios donde se muestren visualmente las posturas adecuadas e inadecuadas, brindando retroalimentación directa al trabajador.

Fase 1. Planificación y Recolección de Datos:

Objetivo: Recolectar datos sobre los movimientos y posturas laborales.

En un primer momento se realizó una revisión de las posturas más comunes y físicamente exigentes y los riesgos que pueden conllevar, mediante trabajo de campo realizando observaciones al entorno laboral, incluyendo entrevistas con los trabajadores para conocer sus rutinas, lo cual permitió identificar tres tipologías de operarios realizando labores de alto índice de lesiones.



Fig 1. Visita a instalaciones de Elite Facility Management – 18 de febrero de 2025



Fig 2. Entrevista con operarios de bodega – 18 de febrero de 2025

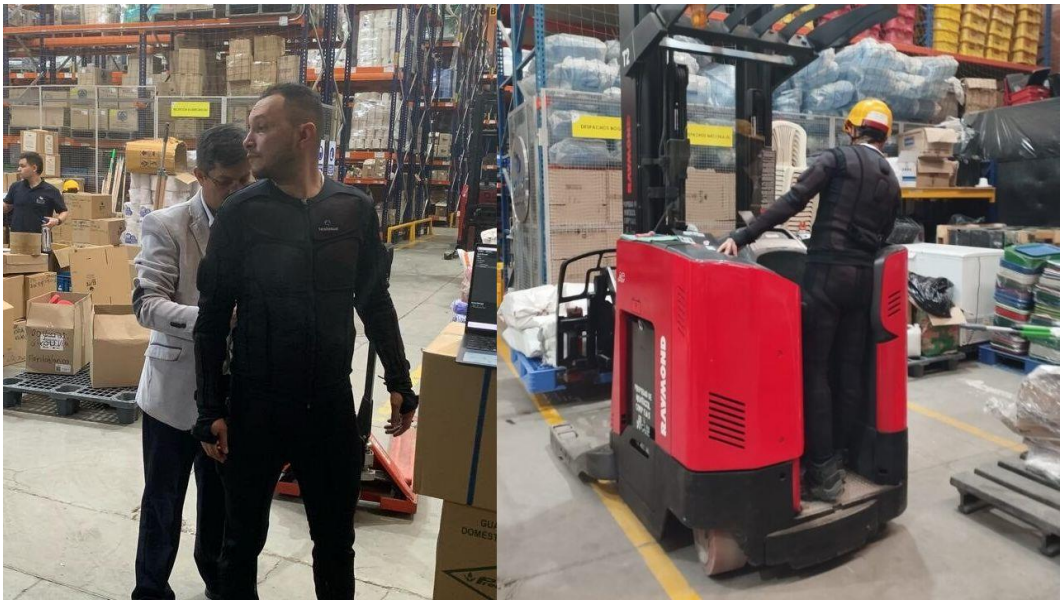


Fig 3. Captura de datos de movimiento con operarios de bodega. 22 de abril de 2025

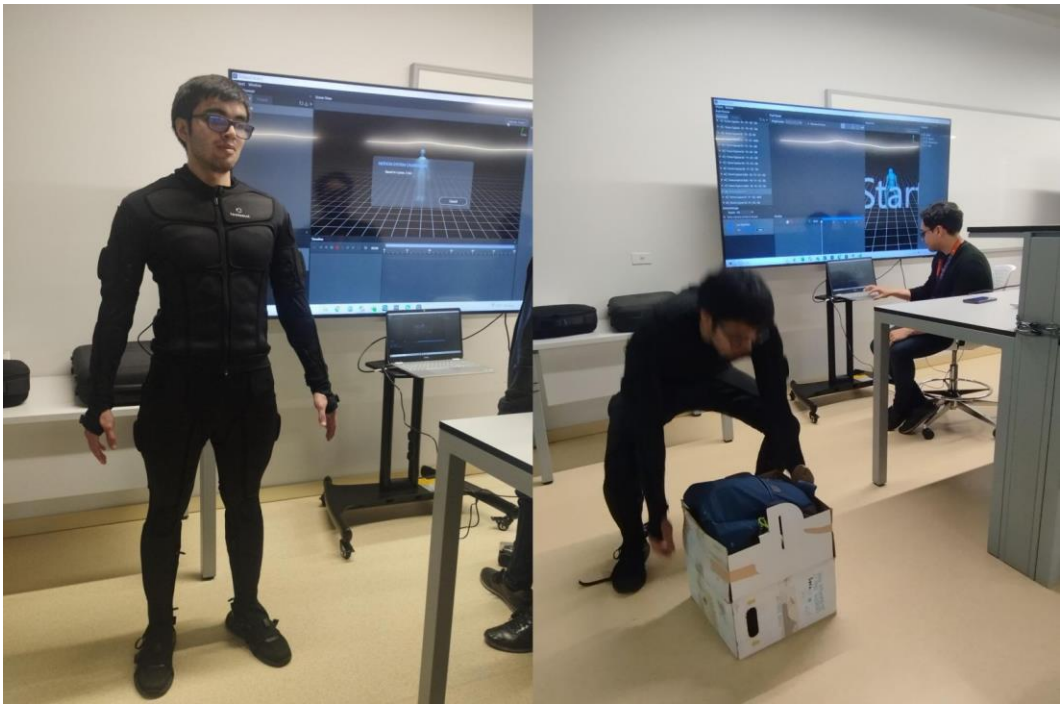


Fig 4. Captura de datos de movimiento con estudiantes del Semillero Creavinci. Mayo - junio de 2025

Fase 2. Modelado de gemelos digitales:

Objetivo: Crear los modelos 3d, precisos tanto de los trabajadores y el ambiente laboral.

Se realizó el proceso de modelado del escenario, herramientas, insumos y demás elementos propios del espacio de trabajo, mediante tecnologías de captura 3d para crear los modelos digitales con precisión en la morfología.

Posteriormente se utilizaron los datos recopilados para animar los modelos previamente creados, transformando dichos modelos en objetos interactivos que despliegan la información que desde el área de HSEQ de la empresa desean transmitir a sus operarios.

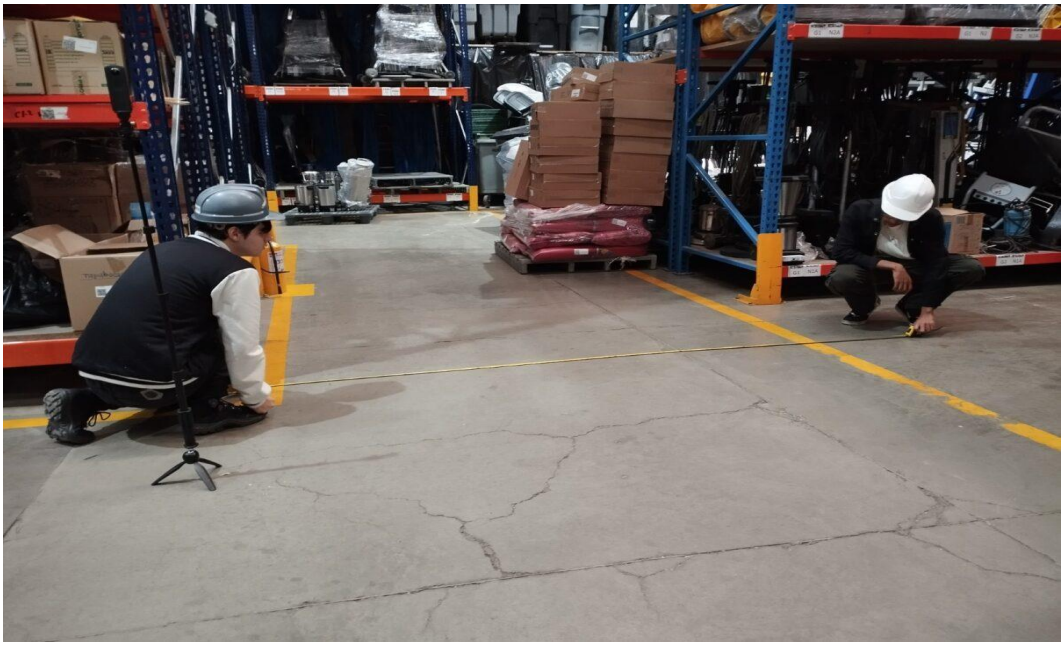


Fig 5. Levantamiento de medidas y registro fotográfico de las instalaciones de la bodega para creación de gemelo digital. 22 de marzo de 2025.

Fase 3. Desarrollo de la aplicación de Realidad Virtual:

Objetivo: Desarrollar una plataforma interactiva en VR para visualizar el entorno en tiempo real de los movimientos aplicados en los gemelos digitales.

En un primer momento se realizó el levantamiento de requerimientos funcionales y no funcionales de la aplicación a partir del diálogo sostenido con el equipo de HSEQ de la empresa Elite Facility, respecto a las características requeridas de la aplicación como herramienta de capacitación laboral para operarios de bodega:

Requerimientos Funcionales

Gestión de usuarios

RF1. La aplicación debe permitir el registro e inicio de sesión de trabajadores (correo, usuario corporativo o biometría).

RF2. El sistema debe permitir la gestión de roles (administrador, capacitador, trabajador).

Contenidos de capacitación

RF3. La aplicación debe ofrecer módulos interactivos de capacitación en prevención de riesgos laborales.

RF4. Cada módulo debe incluir escenarios inmersivos en VR que simulen situaciones de riesgo (ejemplo: caídas, incendios, manejo de maquinaria, sustancias químicas).

RF5. El sistema debe incluir guías narradas y visuales que orienten al usuario dentro de los escenarios.

RF6. La aplicación debe permitir la visualización de instrucciones previas y feedback posterior a cada práctica virtual.

Evaluación y seguimiento

RF7. La aplicación debe incluir evaluaciones interactivas dentro de la simulación (decisiones, rutas seguras, procedimientos correctos).

RF8. El sistema debe generar informes de desempeño individuales (porcentaje de aciertos, errores críticos, tiempo de reacción).

Accesibilidad y compatibilidad

RF9. La aplicación debe ser compatible con visores de VR móviles (ej. Cardboard, Oculus Quest con soporte móvil).

RF10. Debe permitir también un modo 2D en pantalla táctil para quienes no dispongan de visor VR.

Conectividad

RF11. La aplicación debe funcionar tanto en modo online como offline (descargando previamente los escenarios).

Requerimientos No Funcionales

Rendimiento

RNF1. El sistema debe ofrecer tiempos de respuesta rápidos durante el proceso de capacitación.

Usabilidad

RNF2. La interfaz debe ser intuitiva, con menús simples y accesibles desde dispositivos móviles.

RNF3. La navegación en VR debe contar con indicadores visuales y auditivos claros para evitar confusión.

RNF4. El sistema debe cumplir con criterios de accesibilidad digital (WCAG 2.1, subtítulos, ajustes de contraste).

Seguridad

RNF5. Los datos personales y registros de desempeño deben almacenarse de forma cifrada (AES-256 o similar).

RNF6. El acceso debe estar protegido mediante autenticación segura.

Compatibilidad técnica

RNF7. La aplicación debe ser multiplataforma móvil (Android, Windows).

RNF8. Los escenarios VR deben estar optimizados para dispositivos de gama media (mínimo 3 GB RAM).

Escalabilidad y mantenimiento

RNF10. El sistema debe permitir la incorporación de nuevos módulos de capacitación sin afectar el rendimiento.

RNF11. Debe garantizarse una Facilidad de actualización y mantenimiento del

Sistema.

Prototipado de la aplicación

A partir de estos requerimientos y con el uso de las fotografías 360° capturadas en la bodega de la empresa, se realizó un prototipo navegable a modo de tour virtual, utilizando la herramienta en línea *Lapentor*, para testear el diseño de una interfaz de usuario que permita a los trabajadores realizar el recorrido por el espacio laboral digitalizado, y encontrar en el mismo una serie de marcadores interactivos que posteriormente desplegarían infografías y videos con las recomendaciones de uso de implementos, cuidados y aspectos a tener en cuenta en la prevención de incidentes, como se muestra en la figura 6.



Fig 6. Captura de pantalla de aplicación tour virtual 360 de la bodega a manera de prototipo de la aplicación VR. 9 de abril de 2025

Con el uso del motor de desarrollo de videojuegos *Unity* se realizó el diseño de la interfaz de la aplicación VR (ver figura 7), en la cual posteriormente se adecuó el gemelo digital como base de una experiencia de realidad virtual del entorno laboral, para simular las tareas y los espacios donde los trabajadores realizan sus funciones, brindar cápsulas informativas y recomendaciones de seguridad en las diferentes áreas de desempeño laboral (ver figura 8).

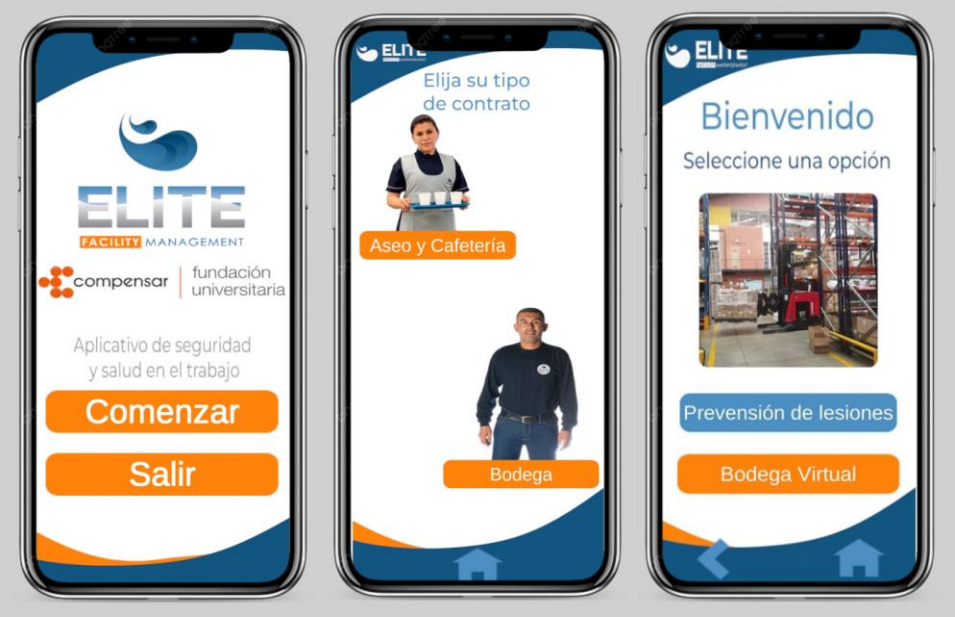


Fig 7. Captura de pantalla de la interfaz de usuario del prototipo de la aplicación VR. Mayo de 2025.

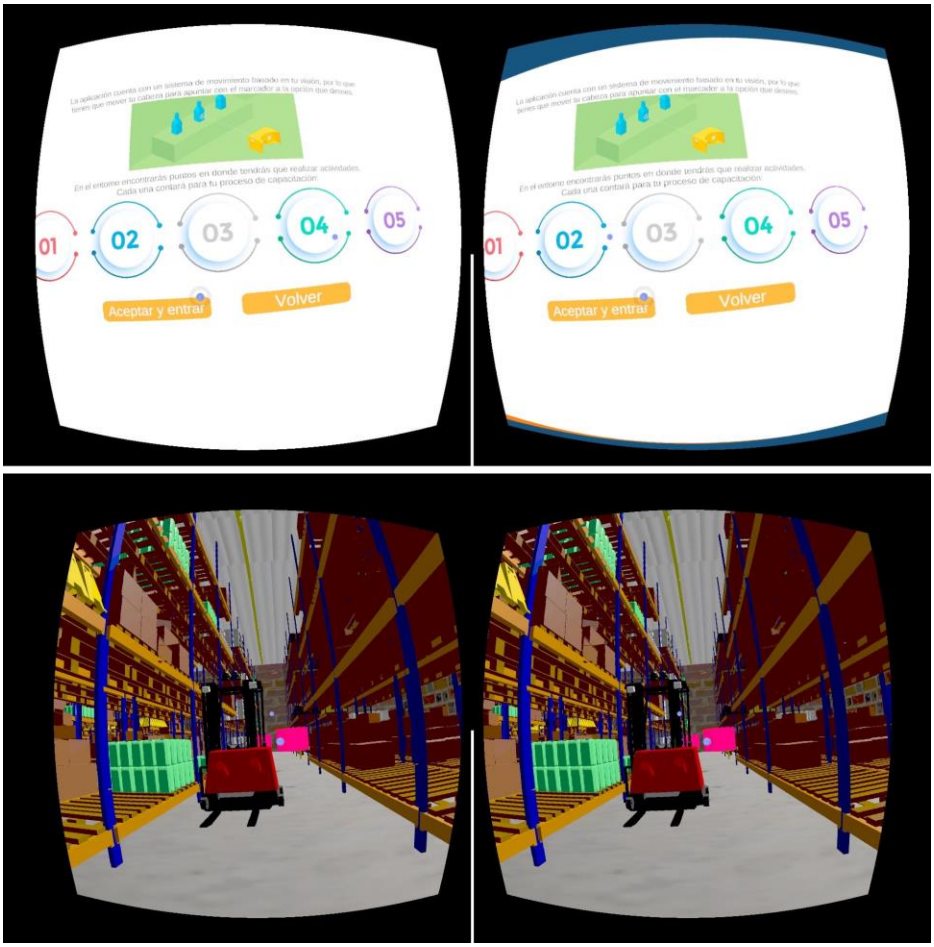


Fig 8. Captura de pantalla de la interfaz de usuario del prototipo de la aplicación VR. Julio de 2025.

Fase 4. Evaluación y validación.

Objetivo: Validar el sistema desarrollado con los usuarios finales y evaluar su efectividad.

El día 21 de noviembre de 2025 se realizó el taller de manejo de la aplicación con los miembros del equipo de HSEQ de la empresa Élite Facility y de los operarios de bodega. Se realizó el testeo y análisis del *feedback* de los usuarios al experimentar la aplicación de VR, mediante una encuesta de percepción de la experiencia, para posteriormente realizar los ajustes a que haya lugar y mejorar así la eficiencia del sistema.



Fig 9. Taller de capacitación en manejo del aplicativo VR con miembros del equipo de HSEQ de Élite Facility.

Discusión

Los resultados parciales y el avance presentado en este informe muestran que el desarrollo del prototipo de aplicación de realidad virtual (VR) y su gemelo digital asociado constituyen una solución técnicamente viable y pertinente para la capacitación en prevención de lesiones por levantamiento de cargas en operarios de bodega. El levantamiento tridimensional del espacio y la integración de datos de captura de movimiento mediante el traje háptico (TeslaSuit) permitieron recrear movimientos reales y generar animaciones comparativas (correcto / incorrecto) que, según

las pruebas piloto realizadas, aumentan la claridad de las instrucciones prácticas y la percepción de realismo por parte de los usuarios. No obstante, la fase final de evaluación con análisis del feedback de usuarios se encuentra pendiente, por lo que las inferencias sobre la efectividad a largo plazo y la reducción de incidencia de lesiones deben considerarse provisionales.

Al comparar los hallazgos y el enfoque metodológico del presente proyecto con la literatura citada en este mismo informe, se observa coherencia con estudios que reportan ventajas de la VR para la adquisición y retención de conocimientos en contextos de seguridad laboral (Scorgie et al., 2024) y con la utilidad de los gemelos digitales para simular condiciones reales de trabajo (Miyagi, 2022). Asimismo, la incorporación de retroalimentación háptica y biométrica responde a las recomendaciones sobre entrenamiento práctico y personalizado presentes en trabajos sobre tecnologías hápticas aplicadas a formación (Gutiérrez, 2022). No obstante, como advierten Kačerová et al. (2022), todavía existe la necesidad de consolidar bases metodológicas estandarizadas para evaluar rigurosamente estas tecnologías; el presente proyecto contribuye a esa construcción, pero aún requiere completar la validación empírica.

Ventajas observadas de la implementación de la aplicación VR en el contexto estudiado:

La aplicación de realidad virtual presenta ventajas significativas para la capacitación en prevención de riesgos laborales. En primer lugar, ofrece un entorno de inmersión y seguridad que permite a los operarios practicar tareas de riesgo sin exponerse a peligros reales, lo que resulta fundamental en contextos donde la prevención es prioritaria. Además, la retroalimentación inmediata y cuantificable facilita medir el desempeño de los trabajadores en aspectos como errores, tiempo de ejecución y posturas, generando recomendaciones objetivas que enriquecen el proceso de aprendizaje.

Otro aspecto positivo es la personalización y escalabilidad de los escenarios de entrenamiento. Gracias al gemelo digital, es posible adaptar las simulaciones a las condiciones específicas de cada empresa y replicarlas para múltiples usuarios, lo que incrementa la pertinencia y eficiencia del recurso. Asimismo, el formato interactivo y visual contribuye a una mejora pedagógica evidente, pues facilita la comprensión de técnicas ergonómicas en comparación con métodos tradicionales como cartillas o charlas. A esto se suma su potencial de integración con los sistemas de gestión HSEQ, ya que posibilita la generación de informes de desempeño y la trazabilidad de la información, elementos clave en procesos de auditoría y cumplimiento normativo.

No obstante, la implementación de esta tecnología también plantea ciertas desventajas y riesgos que deben ser considerados. Entre ellos, se encuentran los costos iniciales de inversión y los requisitos técnicos asociados al hardware especializado y al soporte de software, lo cual puede representar una barrera para algunas organizaciones. A esto se suma la brecha tecnológica y de accesibilidad, ya que trabajadores con menor alfabetización digital o con limitaciones físicas podrían necesitar apoyos adicionales, mientras que la compatibilidad con dispositivos de gama baja aún debe verificarse en condiciones reales de campo.

También existen riesgos relacionados con la experiencia del usuario, dado que las sesiones inmersivas pueden generar malestar físico o cinetosis en algunos casos, reduciendo la tolerancia a entrenamientos prolongados. El mantenimiento constante y las actualizaciones necesarias de modelos tridimensionales, escenarios y sistemas de seguridad incrementan además la carga operativa. Otro punto sensible es la privacidad de los datos biométricos, ya que el registro de señales y desempeño exige medidas claras de cifrado y consentimiento informado.

Finalmente, persiste el riesgo de sobregeneralización: aunque la simulación sea de alta fidelidad, la transferencia de los aprendizajes a situaciones reales debe demostrarse

empíricamente, pues no basta con el recurso tecnológico sin un acompañamiento pedagógico y organizacional adecuado.

Limitaciones metodológicas del estudio hasta la fecha:

La muestra de pruebas piloto es reducida y las actividades de validación final (análisis sistemático del feedback y medición pre-post controlada) están pendientes; existe además la posibilidad de sesgos de selección y de efecto Hawthorne en las pruebas iniciales. Estos factores limitan la generalización de los resultados y exigen una evaluación experimental más robusta para cuantificar impacto real sobre comportamientos y tasas de lesiones.

Implicaciones prácticas para la industria: la solución desarrollada presenta un claro potencial como complemento a los programas de formación en SST —especialmente en tareas de alto riesgo físico— aportando métricas objetivas y mayor atractivo formativo. Para su adopción práctica, las organizaciones deberán planear estrategias de implementación que incluyan formación inicial en el uso de la tecnología, protocolos de privacidad de datos, mantenimiento técnico y evaluación continua del impacto en indicadores reales de salud ocupacional.

Conclusiones

Se desarrolló un prototipo funcional de aplicación de realidad virtual que integra un gemelo digital de la bodega y modelos animados basados en captura de movimiento con traje háptico, cumpliendo los objetivos de diseño y los requerimientos funcionales planteados (gestión de usuarios, escenarios inmersivos, feedback y evaluaciones integradas).

Las pruebas piloto realizadas permiten afirmar que la representación visual comparativa (movimiento correcto vs. incorrecto) y la retroalimentación en tiempo real son percibidas por los operarios como elementos útiles y pedagógicamente valiosos para la enseñanza de técnicas

ergonómicas. Sin embargo, dicha percepción positiva debe confirmarse mediante evaluación cuantitativa amplia.

El enfoque combinado (gemelo digital + captura háptica + VR) constituye una alternativa prometedora para la capacitación en SST, alineada con directrices internacionales de ergonomía y con evidencia que apoya la superioridad de métodos inmersivos para el aprendizaje a corto plazo. Aun así, la evidencia de su efecto en la reducción real de lesiones aún no ha sido establecida por falta de evaluación longitudinal y controlada.

Recomendaciones para estudios futuros y para la continuación del proyecto:

Completar y robustecer la fase de evaluación (Fase 4):

Se propone realizar un estudio experimental con grupo de intervención y grupo control para cuantificar los efectos del entrenamiento en realidad virtual sobre variables objetivas, como la corrección de posturas, el tiempo de ejecución y los errores críticos, así como sobre variables subjetivas relacionadas con la satisfacción y la autoeficacia; además, se sugiere incluir mediciones pre, post y de seguimiento en intervalos de 1, 3 y 6 meses que permitan evaluar la retención del aprendizaje y su transferencia al puesto de trabajo, complementado con el registro y análisis de indicadores operativos reales, tales como incidencias y ausentismo asociado a lesiones, con el fin de estimar su impacto en la salud de los trabajadores y en la relación costo-beneficio para la organización.

Ampliar la robustez metodológica y la muestra:

Es recomendable para futuros estudios incrementar el tamaño muestral y diversificar los perfiles de los operarios en variables como edad, experiencia y turnos, con el propósito de mejorar la validez externa de los resultados; de igual manera, se sugiere incorporar métodos mixtos que

combinen análisis cuantitativos con entrevistas cualitativas y grupos focales, a fin de explorar de manera más integral la aceptación de la tecnología, las posibles barreras en su implementación y las mejoras percibidas por los usuarios.

Optimización técnica y de usabilidad:

Se sugiere evaluar y optimizar la experiencia en dispositivos de gama media o baja, incluyendo versiones en modo 2D y Android, con el fin de garantizar la accesibilidad a un mayor número de usuarios; asimismo, realizar pruebas específicas sobre tolerancia a la cinetosis, determinar la duración óptima de las sesiones y ajustar el escalamiento del feedback háptico para prevenir la fatiga; finalmente, es necesario fortalecer las políticas y mecanismos de seguridad en el manejo de datos biométricos, asegurando su cifrado y la obtención de consentimientos informados adecuados.

Validación operativa e integración organizacional:

Para la validación operativa del prototipo es necesario diseñar e implementar un plan piloto de adopción dentro del sistema HSEQ de la empresa (procedimientos de acompañamiento, roles de capacitador/administrador, indicadores de seguimiento).

Para la evaluación de la viabilidad económica, se sugiere adelantar un análisis de retorno de inversión (ROI) que considere reducción de accidentes, disminución de días perdidos y menor necesidad de entrenamientos presenciales de alto costo.

Contribución al estado del arte y replicabilidad:

Es prioritario documentar y publicar protocolos de evaluación y métricas estandarizadas para facilitar comparaciones entre estudios y contribuir a la base metodológica recomendada por la literatura.

Adicionalmente se requiere extender el enfoque a otros entornos laborales y multi-sitio para comprobar la escalabilidad y generalización del método.

En síntesis, el prototipo desarrollado representa un avance significativo en la aplicación de tecnologías inmersivas al entrenamiento en seguridad laboral y ofrece una base técnica y metodológica sólida para estudios posteriores. La siguiente etapa esencial es la evaluación empírica controlada y de seguimiento que confirme la transferencia del aprendizaje virtual al desempeño seguro en el trabajo y permita estimar su impacto real en la reducción de lesiones ocupacionales.

Referencias Bibliográficas

Cárdenas, M., & Paredes, C. (2021). *Sistema de realidad aumentada para la capacitación en un torno industrial por medio de la detección de marcadores basados en descriptores clásicos*. Centro de Investigaciones en Óptica, A.C. https://cio.repositorioinstitucional.mx/jspui/handle/1002/1223

Costa, C., Gomes, E., Rodrigues, N., et al. (2025). Augmented reality mobile digital twin for unmanned aerial vehicle wildfire prevention. *Virtual Reality, 29*, 71. https://doi.org/10.1007/s10055-025-01145-w

de la Torre Cantero, J., Saorín, J. L., Carbonell, C., del Castillo Cossío, M. D., & Contero, M. (2012). Modelado 3D como herramienta educacional para el desarrollo de competencias de los nuevos grados de Bellas Artes. *Arte, Individuo y Sociedad, 24*(2), 179–193. https://doi.org/10.5209/rev_ARIS.2012.v24.n2.39025

Feng, Z., González, V. A., Amor, R., Lovreglio, R., & Cabrera-Guerrero, G. (2018). Immersive virtual reality serious games for evacuation training and research: A systematic literature review. *Computers & Education, 127*, 252–266. https://doi.org/10.1016/j.compedu.2018.09.002

Gutiérrez, D. L. (2022). La exploración de tecnología de realidad virtual para mejorar la educación y la capacitación. *Biníriame, 2022*(2), Art. 3. https://doi.org/10.20983/biniriame.2022.2.3

Huamán Torres, M., Joaquin Díaz, M., Liza Marroquín, C., & Ugarte Aguirre, J. (2025). Realidad aumentada para mejorar competencias laborales. *Gestión de Operaciones Industriales, 3*(2), 61–.

International Ergonomics Association. (2023). *Definition and domains of ergonomics*. https://iea.cc/what-is-ergonomics/

International Labour Organization (ILO) & International Ergonomics Association (IEA). (2021). *Principles and guidelines for human factors/ergonomics (HFE) design and management of work systems*. International Labour Organization. https://www.ilo.org/publications/principles-and-guidelines-human-factors-ergonomics-hfe-design-and

Kačerová, J., Kubr, J., Hořejší, P., & Kleinová, J. (2022). Ergonomic design of a workplace using virtual reality and a motion capture suit. *Applied Sciences, 12*(4), 2150. https://doi.org/10.3390/app12042150

Lorduy, D. J., & Naranjo, C. P. (2020). Tecnologías de la información y la comunicación aplicadas a la educación en ciencias. *Praxis & Saber, 11*(27), e11177. https://doi.org/10.19053/22160159.v11.n27.2020.11177

Miyagi, P. (2022, August 4). What is a digital twin, anyway? *IEEE Transmitter*. https://transmitter.ieee.org/what-is-a-digital-twin-anyway/

Samala, A. D., Rawas, S., Rahmadika, S., et al. (2025). Virtual reality in education: Global trends, challenges, and impacts—Game changer or passing trend? *Discover Education, 4*, 229. https://doi.org/10.1007/s44217-025-00650-z

Scorgie, D., Feng, Z., Paes, D., Parisi, F., Yiu, T. W., & Lovreglio, R. (2024). Virtual reality for safety training: A systematic literature review and meta-analysis. *Safety Science, 171*, 106372. https://doi.org/10.1016/j.ssci.2023.106372

Tesla Suit. (2023). *User guide: Version 4.8 XR*. https://developer.teslasuit.io/wp-content/uploads/UserGuide_Version-4.8-XR_March-2023.pdf

Velázquez, J. S., Paños, E., & Cavas, F. (2025). New augmented reality application for improving clinical education and patient-doctor interaction in remotely-assisted ophthalmology consultations. *Virtual Reality, 29*(3), 421–437. https://link.springer.com/article/10.1007/s10055-025-01173-6

Anexos

Anexo 1. Cuestionario de entrevista a operarios de bodega

Propósito: Identificar posibles riesgos laborales relacionados con los movimientos, posturas, manipulación de cargas, uso de herramientas o maquinaria, y antecedentes de lesiones en operarios de bodega.

Dirigido a: Operarios de bodega

Aplicado por: [Nombre del entrevistador / cargo]

Fecha: [Día/Mes/Año]

Lugar: [Área o sección de trabajo]

1. Datos generales del trabajador

1. Nombre (opcional): _____
2. Edad: _____
3. Sexo: ☐ Masculino ☐ Femenino
4. Tiempo en el cargo actual: _____
5. Turno de trabajo: ☐ Mañana ☐ Tarde ☐ Noche
6. Área o tipo de labores que realiza: _____

2. Actividades y movimientos habituales

7. ¿Cuáles son las tareas principales que realiza durante su jornada laboral?
8. Describa los movimientos que más repite a lo largo del día (por ejemplo: levantar cajas, agacharse, empujar carretas, girar el tronco, etc.).
9. ¿Con qué frecuencia realiza esos movimientos repetitivos? (Ejemplo: cada hora, constantemente, unas cuantas veces al día).
10. ¿Qué partes del cuerpo utiliza con mayor esfuerzo en sus tareas (espalda, brazos, piernas, muñecas, cuello, hombros, etc.)?
11. ¿Cuánto tiempo pasa de pie, sentado o caminando durante su jornada laboral?

3. Manipulación de cargas

12. ¿Con qué frecuencia levanta o transporta objetos pesados?
13. ¿Cuál es el peso promedio de las cargas que manipula?
    ☐ Menos de 5 kg ☐ 5–10 kg ☐ 10–20 kg ☐ Más de 20 kg
14. ¿Cómo levanta las cargas? (Por ejemplo: con ayuda de otro compañero, flexionando las rodillas, desde el suelo, desde una mesa, con equipo auxiliar, etc.)
15. ¿Utiliza algún equipo o herramienta para mover o levantar objetos? ¿Cuál(es)?
16. ¿Ha recibido capacitación sobre técnicas de levantamiento seguro o ergonomía?
    ☐ Sí ☐ No

4. Uso de maquinaria, herramientas y equipos

17. ¿Qué tipo de maquinaria, herramientas o equipos utiliza en sus labores (montacargas, gatos hidráulicos, carretillas, etc.)?
18. ¿Con qué frecuencia utiliza cada uno de ellos?
19. ¿Considera que el equipo que usa se encuentra en buen estado y recibe mantenimiento adecuado?
20. ¿Siente vibraciones, ruidos o movimientos bruscos al usar alguna máquina o herramienta?

5. Condiciones del entorno y pausas

21. ¿Cómo describiría el espacio físico donde trabaja (amplio, reducido, con obstáculos, buena iluminación, ventilación adecuada)?
22. ¿Tiene oportunidad de hacer pausas o descansos durante la jornada?
23. ¿Suele cambiar de tarea o mantener la misma actividad durante todo el turno?

6. Lesiones, molestias o antecedentes de salud

24. ¿Ha tenido alguna lesión, dolor o molestia relacionada con el trabajo (espalda, hombros, muñecas, rodillas, cuello, etc.)?
25. ¿Ha requerido incapacidades médicas o tratamientos por lesiones laborales anteriores?
26. ¿En qué parte del cuerpo siente mayor cansancio o molestia al finalizar la jornada?
27. ¿Ha informado o reportado esas molestias a su supervisor o al área de seguridad y salud en el trabajo?

7. Percepción y sugerencias

28. ¿Qué considera usted que podría hacerse para mejorar la seguridad y salud en su puesto de trabajo?
29. ¿Siente que recibe apoyo o seguimiento por parte del área de seguridad y salud ocupacional?
30. ¿Hay alguna tarea o herramienta que considere particularmente riesgosa o incómoda?

Observaciones del entrevistador:

Anexo 2. Informe técnico Requerimientos de la aplicación

Informe Técnico

Requerimientos funcionales

Aplicación de realidad virtual para capacitación laboral en prevención de lesiones por levantamiento de cargas

Autores:

Luis Guillermo Molero Suarez, Carlos Hugo Neiva Reyes, Wilmer Geovany Sepulveda Manrique, Sergio Felipe Suarez Soto, Diogo Rodríguez Bezerra

Facultad de Ingeniería, Fundación Universitaria Compensar

Bogotá D.C.

Abril 2025

1. Resumen Ejecutivo

El presente informe detalla los requerimientos funcionales y no funcionales para el diseño y desarrollo de una aplicación de realidad virtual (VR) destinada a la capacitación en prevención de riesgos en salud y seguridad en el trabajo. El proyecto se orienta específicamente a los operarios de bodega de la empresa Elite Facility Management, ubicada en la ciudad de Bogotá, y busca fortalecer las competencias de los trabajadores en la identificación, manejo y reducción de riesgos laborales a través de experiencias inmersivas e interactivas.

El levantamiento de requerimientos se llevó a cabo mediante un proceso de análisis colaborativo entre el equipo de docentes investigadores de la Fundación Universitaria Compensar y el equipo de HSEQ (Health, Safety, Environment and Quality) de la empresa aliada. Esta labor permitió identificar las necesidades específicas del contexto laboral, así como los criterios técnicos y pedagógicos indispensables para garantizar la eficacia de la aplicación.

La aplicación proyectada pretende convertirse en una herramienta innovadora que, además de dinamizar los procesos de formación en seguridad laboral, incremente la conciencia preventiva, reduzca la incidencia de accidentes y contribuya al cumplimiento normativo en seguridad y salud en el trabajo (SST). Asimismo, se busca que la solución sea escalable, segura, accesible desde dispositivos móviles y adaptable a nuevos escenarios de capacitación.

Palabras clave: Prevención de riesgos laborales, Capacitación virtual, Requerimientos de software, Seguridad y salud en el trabajo (SST), Realidad virtual (VR).

2. Índice

1. Resumen ejecutivo
2. Índice
3. Requerimientos
    3.1 Requerimientos Funcionales
    3.2 Requerimientos No funcionales
4. Conclusiones
5. Glosario de términos

3. Requerimientos

3.1 Requerimientos Funcionales

3.1.1 Gestión de usuarios

- RF1. La aplicación debe permitir el **registro e inicio de sesión** de trabajadores (correo, usuario corporativo).
- RF2. El sistema debe permitir la **gestión de roles** (administrador, capacitador, trabajador).

Tabla 1 Requerimientos funcionales - Gestión de usuarios

FUNCIONAL	**X**	**NO FUNCIONAL**	
NÚMERO DE REQUERIMIENTO		RF1	
DESCRIPCIÓN	Control de accesos basado en perfiles de usuarios y roles asignados.		
PRIORIDAD	**ALTA**	**MEDIA**	**BAJA**
PARTICIPANTES	Administrador del sistema		
OBSERVACIONES	El control de accesos debe ser flexible y ajustarse a las necesidades específicas de la organización, asegurando que cada usuario tenga acceso solo a la información y funciones que corresponden a su rol, lo que ayuda a mantener la seguridad y privacidad de los datos.		

Tabla 2 Requerimientos funcionales - Gestión de roles de usuarios

FUNCIONAL	**X**	**NO FUNCIONAL**	
NÚMERO DE REQUERIMIENTO		RF2	
DESCRIPCIÓN	El sistema debe permitir la creación, modificación y eliminación de usuarios y sus perfiles.		
PRIORIDAD	**ALTA**	**MEDIA**	**BAJA**
PARTICIPANTES	Administrador del sistema		
OBSERVACIONES	Se debe asegurar que los permisos para la gestión de usuarios sean manejados adecuadamente para evitar accesos no autorizados y asegurar la integridad de la información.		

3.1.2. Contenidos de capacitación

- RF3. La aplicación debe ofrecer **módulos interactivos de capacitación** en prevención de riesgos laborales.
- RF4. Cada módulo debe incluir **escenarios inmersivos en VR** que simulen situaciones de riesgo (ejemplo: caídas, incendios, manejo de maquinaria, sustancias químicas).
- RF5. El sistema debe incluir **guías narradas y visuales** que orienten al usuario dentro de los escenarios.
- RF6. La aplicación debe permitir la **visualización de instrucciones previas y feedback posterior** a cada práctica virtual.

3.1.3. Evaluación y seguimiento

- RF7. La aplicación debe incluir **evaluaciones interactivas** dentro de la simulación (decisiones, rutas seguras, procedimientos correctos).
- RF8. El sistema debe generar **informes de desempeño** individuales (porcentaje de aciertos, errores críticos, tiempo de reacción).

3.1.4. Accesibilidad y compatibilidad

- RF9. La aplicación debe ser **compatible con visores de VR móviles** (ej. Cardboard, Oculus Quest con soporte móvil).
- RF10. Debe permitir también un **modo 2D en pantalla táctil** para quienes no dispongan de visor VR.

3.1.5. Conectividad

- RF11. La aplicación debe funcionar tanto en **modo online como offline** (descargando previamente los escenarios).

3.2 Requerimientos No Funcionales

3.2.1. Rendimiento

- RNF1. El sistema debe ofrecer tiempos de respuesta rápidos durante el proceso de capacitación.

Tabla 3 Requerimientos no funcionales - Rendimiento

FUNCIONAL		**NO FUNCIONAL**	**X**
NÚMERO DE REQUERIMIENTO		RNF1	
DESCRIPCIÓN	El sistema debe ofrecer tiempos de respuesta rápidos durante el proceso de capacitación.		
PRIORIDAD	**ALTA**	**MEDIA**	**BAJA**
PARTICIPANTES	Equipo de desarrollo, Usuarios finales		
OBSERVACIONES	La velocidad en la reproducción es crucial para mejorar la experiencia del usuario y garantizar un flujo eficiente en el acceso a la aplicación.		

3.2.2. Usabilidad

- RNF2. La interfaz debe ser **intuitiva, con menús simples y accesibles desde dispositivos móviles**.
- RNF3. La navegación en VR debe contar con **indicadores visuales y auditivos claros** para evitar confusión.
- RNF4. El sistema debe cumplir con **criterios de accesibilidad digital** (WCAG 2.1, subtítulos, ajustes de contraste).

Tabla 4 Requerimientos funcionales - Interfaz de usuario intuitiva

FUNCIONAL	**X**	**NO FUNCIONAL**	
NÚMERO DE REQUERIMIENTO		RNF2	
DESCRIPCIÓN	La interfaz debe ser intuitiva, con menús simples y accesibles desde dispositivos móviles		
PRIORIDAD	**ALTA**	**MEDIA**	**BAJA**
PARTICIPANTES	Diseñador de interfaces		
OBSERVACIONES	La facilidad de uso es clave para la adopción del sistema; por lo tanto, la interfaz debe ser clara y accesible, permitiendo que tanto administradores como usuarios		

	finales naveguen sin complicaciones y realicen sus tareas de manera eficiente.

Tabla 5 Requerimientos no funcionales - Usabilidad

FUNCIONAL		**NO FUNCIONAL**	**X**
NÚMERO DE REQUERIMIENTO		RNF3	
DESCRIPCIÓN	La navegación en VR debe contar con indicadores visuales y auditivos claros para evitar confusión.		
PRIORIDAD	**ALTA**	**MEDIA**	**BAJA**
PARTICIPANTES	Usuarios finales, Administradores del sistema		
OBSERVACIONES	Es fundamental que la interfaz sea intuitiva, lo que facilitará la capacitación y el uso diario del sistema, mejorando la satisfacción y productividad de los usuarios mediante el uso de indicadores visuales y auditivos claros.		

3.2.3. Seguridad

- RNF6. Los datos personales y registros de desempeño deben almacenarse de forma **cifrada**.
- RNF7. El acceso debe estar protegido mediante **autenticación segura**.

Tabla 6 Requerimientos no funcionales - Seguridad de datos

FUNCIONAL		**NO FUNCIONAL**	**X**
NÚMERO DE REQUERIMIENTO		RNF6	
DESCRIPCIÓN	Protección de la información almacenada y transmitida mediante cifrado y autenticación segura.		
PRIORIDAD	**ALTA**	**MEDIA**	**BAJA**
PARTICIPANTES	Administradores de sistemas		
OBSERVACIONES	Es fundamental implementar protocolos de seguridad robustos para garantizar la confidencialidad e integridad de los datos.		

3.2.4. Compatibilidad técnica

- RNF8. La aplicación debe ser **multiplataforma móvil** (Android, Windows).
- RNF9. Los escenarios VR deben estar optimizados para **dispositivos de gama media** (mínimo 3 GB RAM).

Tabla 7 Requerimientos no funcionales - Compatibilidad

FUNCIONAL	**X**	**NO FUNCIONAL**	
NÚMERO DE REQUERIMIENTO		RNF8	
DESCRIPCIÓN	Debe ser accesible multiplataforma (Android, Windows).		
PRIORIDAD	**ALTA**	**MEDIA**	**BAJA**
PARTICIPANTES	Desarrollador de software		
OBSERVACIONES	Es fundamental que el sistema sea compatible con diferentes navegadores web y dispositivos móviles, asegurando así que los usuarios puedan acceder a la plataforma desde cualquier lugar y en cualquier momento, mejorando la experiencia del usuario.		

Tabla 8 Requerimientos no funcionales - Compatibilidad

FUNCIONAL		**NO FUNCIONAL**	**X**
NÚMERO DE REQUERIMIENTO		RNF9	
DESCRIPCIÓN	El sistema debe ser compatible con diferentes Dispositivos de gama media		
PRIORIDAD	**ALTA**	**MEDIA**	**BAJA**
PARTICIPANTES	Equipo de desarrollo, Diseñadores de interfaz		
OBSERVACIONES	Asegurar la compatibilidad con los navegadores más populares y dispositivos móviles es crucial para una experiencia de usuario fluida y accesible.		

3.2.5. Escalabilidad y mantenimiento

- RNF10. El sistema debe permitir la **incorporación de nuevos módulos de capacitación** sin afectar el rendimiento.
- RNF11. Debe garantizarse una Facilidad de actualización y mantenimiento del
- Sistema.

Tabla 9 Requerimientos no funcionales - Escalabilidad

FUNCIONAL		**NO FUNCIONAL**	**X**
NÚMERO DE REQUERIMIENTO		RNF10	
DESCRIPCIÓN	El sistema debe permitir la incorporación de nuevos módulos de capacitación sin afectar el rendimiento.		
PRIORIDAD	**ALTA**	**MEDIA**	**BAJA**
PARTICIPANTES	Equipo de desarrollo, Administrador de sistemas		
OBSERVACIONES	Es importante que el sistema se pueda ajustar a la demanda sin comprometer la velocidad y eficiencia.		

Nota: Esta tabla muestra un requerimiento no funcional de escalabilidad

Tabla 10 Requerimientos no funcionales - Mantenimiento

FUNCIONAL		**NO FUNCIONAL**	**X**
NÚMERO DE REQUERIMIENTO		RNF11	
DESCRIPCIÓN	Facilidad de actualización y mantenimiento del sistema		
PRIORIDAD	**ALTA**	**MEDIA**	**BAJA**
PARTICIPANTES	Equipo de soporte técnico, Administradores del sistema		
OBSERVACIONES	Es importante que el sistema sea fácil de actualizar para incorporar mejoras y correcciones sin interrumpir su funcionamiento. Esto asegurará la continuidad del servicio y la satisfacción del usuario.		

4. Conclusiones

El análisis de los requerimientos evidencia que la aplicación de realidad virtual para capacitación en prevención de riesgos laborales debe cumplir con un doble propósito: garantizar experiencias inmersivas y efectivas para el aprendizaje, y al mismo tiempo mantener la simplicidad, seguridad y accesibilidad necesarias para un entorno corporativo.

En cuanto a los requerimientos funcionales, se resalta la necesidad de integrar escenarios realistas en VR que simulen situaciones de riesgo, acompañados de evaluaciones interactivas y retroalimentación personalizada. Esto permitirá no solo el fortalecimiento del conocimiento teórico, sino también la práctica en condiciones seguras

que acerquen al trabajador a experiencias cercanas a la realidad. La gestión de usuarios, la trazabilidad de resultados y la posibilidad de generar reportes convierten a la aplicación en una herramienta útil tanto para el trabajador como para el área de seguridad laboral de la empresa.

Respecto a los requerimientos no funcionales, el énfasis se centra en la usabilidad, compatibilidad y rendimiento. La aplicación debe ser intuitiva, funcionar en dispositivos móviles de diferentes gamas y garantizar tiempos de carga reducidos para no afectar la experiencia. Además, la seguridad en el manejo de los datos es crítica, dado que se gestionará información personal y de desempeño de los trabajadores. La escalabilidad y el mantenimiento también son aspectos clave, ya que el sistema debe poder evolucionar con nuevos módulos y actualizaciones sin perder estabilidad.

En síntesis, el conjunto de requerimientos define una solución tecnológicamente robusta, segura y pedagógicamente efectiva, capaz de integrarse en los procesos de capacitación empresarial. Su implementación no solo contribuirá a la reducción de riesgos laborales, sino también a la optimización de los programas de formación, generando un mayor compromiso del trabajador al utilizar herramientas innovadoras y atractivas.

12. Glosario de términos

Accesibilidad digital
Conjunto de principios y buenas prácticas que aseguran que una aplicación pueda ser utilizada por personas con diferentes capacidades físicas, sensoriales o cognitivas.

Autenticación segura (OAuth 2.0)
Protocolo estándar para la verificación de identidad y acceso seguro a sistemas digitales mediante credenciales encriptadas.

Cifrado (AES-256)
Algoritmo de seguridad informática que protege los datos sensibles almacenados o transmitidos, asegurando su confidencialidad.

Compatibilidad multiplataforma

Capacidad de una aplicación para ejecutarse correctamente en diferentes sistemas operativos o dispositivos, como Android e iOS.

Disponibilidad del sistema

Medida del tiempo en que un sistema o servicio está operativo y accesible para los usuarios, normalmente expresada en porcentaje.

Evaluación interactiva

Mecanismo dentro de la capacitación que permite al trabajador tomar decisiones, responder preguntas o actuar en simulaciones, generando retroalimentación inmediata.

Experiencia inmersiva

Sensación de presencia dentro de un entorno virtual en el que el usuario percibe estar "dentro" de la simulación gracias a la realidad virtual.

Feedback

Retroalimentación que recibe el usuario tras una actividad, indicando aciertos, errores y posibles mejoras.

Interfaz de usuario (UI)

Parte visual de la aplicación que permite la interacción del usuario con el sistema a través de menús, botones, íconos y controles.

Modo offline

Funcionalidad que permite al usuario acceder a contenidos o escenarios previamente descargados, sin necesidad de conexión a internet.

Módulo de capacitación

Unidad temática dentro de la aplicación que agrupa contenidos, escenarios VR y evaluaciones relacionados con un tipo específico de riesgo laboral.

Prevención de riesgos laborales

Conjunto de medidas y procedimientos destinados a identificar, reducir o eliminar los peligros presentes en el entorno de trabajo.

Realidad virtual (VR)

Tecnología que permite al usuario interactuar con entornos simulados en tres dimensiones, normalmente a través de visores y dispositivos móviles.

Reporte de desempeño

Documento generado automáticamente por la aplicación que muestra el progreso, resultados y nivel de competencia alcanzado por un trabajador.

Roles de usuario

Niveles de permisos o perfiles dentro de la aplicación (administrador, capacitador, trabajador) que determinan el acceso a funciones específicas.

Sincronización en la nube

Proceso por el cual los datos almacenados en el dispositivo se actualizan automáticamente en servidores remotos, garantizando acceso desde múltiples dispositivos.

Usabilidad

Grado en que un sistema es fácil de aprender, eficiente de usar y satisfactorio para el usuario en términos de experiencia.

Anexo 3. Actas de visitas a la Bodega de Elite Facility Managment

Anexo 4. Formulario de encuesta de testeo del prototipo de software VR