

# GESTIÓN DE OPERACIONES INDUSTRIALES



Esta obra está publicada bajo una [Licencia Creative Commons Atribución 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)



UNIVERSIDAD  
NACIONAL DE  
TRUJILLO

FACULTAD DE INGENIERIA  
ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA INDUSTRIAL  
TRUJILLO, PERÚ  
Julio, 2023

## **VIRTUAL REALITY AS A TRAINING AND RISK MANAGEMENT TOOL IN THE SUPPLY CHAIN: A SYSTEMATIC REVIEW**

Johann Castillo Oliva<sup>1\*</sup>; David Elías Esparza Sánchez<sup>1</sup>, Bruno Hiroshi Espinosa Luna<sup>1</sup>, Bruno Adrián Montañez Díaz<sup>1</sup>, Piero Lenin Varas Zurita<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Trujillo. Av. Juan Pablo II s/n – Ciudad Universitaria, Trujillo, Perú.

\* Autor de correspondencia: [t513300320@unitru.edu.pe](mailto:t513300320@unitru.edu.pe) (J. Castillo)

---

---

### **ABSTRACT**

Virtual reality is one of the technologies that is gaining relevance in various sectors of a company, especially in personnel training to facilitate the integration of human resources into the supply chain. The present article aims to collect scientific information through the PRISMA methodology to expose the existing benefits of virtual reality application for personnel training in the prevention of risks within the various processes involved in the supply chain, such as production. Likewise, it seeks to recognize the tools used for the implementation of this technology and the challenges that companies face in carrying out vocational training with virtual reality.

**Keywords:** Digital transformation; Industry 4.0; simulation; hazard prevention, safety

---

---

---

---

# REALIDAD VIRTUAL COMO HERRAMIENTA DE CAPACITACIÓN Y GESTIÓN DE RIESGOS EN LA CADENA DE SUMINISTRO: UNA REVISIÓN SISTEMÁTICA

---

---

## RESUMEN

La realidad virtual es una de las tecnologías que está ganando relevancia en diversos sectores de una empresa, especialmente en el entrenamiento de personal para facilitar la integración de recursos humanos en la cadena de suministro. El presente artículo tiene como objetivo recolectar información científica a través de la metodología PRISMA para exponer los beneficios existentes de la aplicación de realidad virtual para la capacitación de personal en la prevención de riesgos existentes en los diversos procesos involucrados en la cadena de suministro, como en la producción. Asimismo, reconocer las herramientas utilizadas para la implementación de esta tecnología y los desafíos que conlleva para las empresas ejecutar los entrenamientos laborales con realidad virtual.

**Palabras clave:** Transformación digital, industria 4.0, simulación, prevención, seguridad

---

---

## 1. Introducción

El rápido avance tecnológico ha traído consigo nuevas herramientas disruptivas que han revolucionado el trabajo convencional. Sin embargo, existe una necesidad de comprender mejor el impacto de estas tecnologías en el en el ámbito industrial y la gestión de riesgos laborales. Una de las tecnologías que ha ganado atención en este sentido es la Realidad Virtual (RV) [1]. La RV crea una simulación computarizada del mundo real en tres dimensiones, permitiendo a los usuarios interactuar de manera inmersiva con el entorno virtual [2]. Aunque la RV ha sido principalmente utilizada en el entretenimiento y los videojuegos, diversos estudios han evidenciado su potencial en el ámbito industrial.

En el contexto empresarial de la manufactura, la adopción de la transformación digital en el ámbito de la Industria 4.0 promete proporcionar a las empresas una ventaja competitiva y una mayor probabilidad de supervivencia, especialmente para las pequeñas y medianas (PYMEs) [3], [4]. En adición, uno de los fundamentos de diseño de la Industria 4.0 es la virtualización, que implica el uso de tecnologías de RV y Realidad Aumentada (RA) [5]. Por lo tanto, la RV se puede aprovechar en el contexto empresarial de la manufactura y en la cadena de suministro (en adelante CDS).

Así mismo, se han identificado diversas aplicaciones de la RV en la CDS, para la adquisición de habilidades en la prevención de riesgos laborales como en la manipulación segura de maquinaria [6], [7]. Esto se debe a las experiencias sumamente inmersivas que ofrecen los dispositivos portátiles de RV, incluso aquellos de bajo costo [8]. En base a los estudios revisados, resulta importante llevar a cabo una revisión sistemática dar a conocer los beneficios que esta tecnología ofrece en la formación y capacitación de los empleados en habilidades técnicas y seguridad laboral. Además, es fundamental analizar los desafíos que tiene la virtualización en su implementación en las empresas industriales actuales con el objetivo de contribuir a futuras investigaciones y al crecimiento de la virtualización en la industria moderna.

En ese sentido, en esta revisión sistemática se plantea la siguiente pregunta de investigación: ¿Cómo contribuye la Realidad Virtual (RV) en la formación y capacitación de empleados de la cadena de suministro (CDS) en términos de manejo y prevención de riesgos? Así mismo, mediante el análisis exhaustivo de estudios relevantes, los objetivos de este estudio a cubrir son: (i) identificar los beneficios de la RV como herramienta de capacitación y adquisición de habilidades relacionadas con la prevención de riesgos en la CDS, (ii) reconocer las

herramientas y dispositivos utilizados en el desarrollo e implementación de RV para la gestión de riesgos y (iii) analizar las limitaciones y desafíos asociados con la implementación de la RV para la capacitación en manejo y prevención de riesgos.

## **2. Materiales y métodos**

Para llevar a cabo este estudio, se adoptó la metodología PRISMA 2020 [9]. La cual consta de un conjunto de directrices para la realización y presentación de revisiones sistemáticas. Esta metodología tiene 27 elementos clave desde el planteamiento del título, donde se identifica claramente el estudio como una revisión sistemática, hasta la descripción de la introducción con la justificación, los objetivos y las preguntas de investigación a abordar.

A continuación, se presenta en detalle la sección de materiales y métodos, donde se describen los criterios de inclusión y exclusión aplicados en el proceso de búsqueda en diversas bases de datos y plataformas de almacenamiento y difusión de literatura científica. Asimismo, se detallan las estrategias de búsqueda utilizadas y los procedimientos de selección y recolección de datos de los informes seleccionados. Finalmente, los resultados, la discusión y las conclusiones se basan en el análisis exhaustivo de los documentos seleccionados y revisados previamente [9].

La metodología PRISMA proporciona un enfoque sólido y estructurado para llevar a cabo revisiones sistemáticas de manera confiable [9]. Adicionalmente, la actualización de los elementos de la metodología realizada por tiene como objetivo facilitar su implementación en futuras revisiones sistemáticas, garantizando así la calidad y la coherencia en la ejecución de este tipo de estudios.

### **2.1. Estrategia de búsqueda**

Se realizó una búsqueda en las bases de datos Scopus, Dialnet y ScienceDirect para recopilar estudios anteriores al 24 de junio de 2023. Se utilizaron palabras clave relacionadas con realidad virtual, cadena de suministro y gestión de riesgos laborales, como "capacitación", "seguridad", "realidad virtual", "prevención" y "riesgo". Las cadenas de búsqueda se crearon utilizando los operadores booleanos "AND" y "OR". Las consultas específicas para cada base de datos se encuentran en la Tabla 1.

**Tabla 1**

Consultas en las bases de datos seleccionadas

Base de datos	Consulta de búsqueda de documentos
Scopus	("virtual reality" OR "virtual environment" OR "augmented reality" ) AND ( "training" ) AND ( "operator*" OR "technician*" OR "personnel" ) AND ( "machine*" OR "factory" OR "manufactur*" OR "plant" ) AND ( "safe*" OR "risk" )
Dialnet	"realidad virtual" AND “prevención de riesgos”
ScienceDirect	"virtual reality" and "training" and "safety" and "risk"

*Nota.* Se elaboraron consultas de búsqueda adaptadas a las particularidades de cada base de datos. Para la plataforma Scopus, se empleó una búsqueda de mayor complejidad, mientras que para Dialnet y Science Direct se prefirió una búsqueda más básica.

## 2.2. Criterios de elegibilidad

Los estudios serán incluidos en esta revisión si cumplen con los siguientes criterios: (i) Han sido publicados en los idiomas de español e inglés, (ii) los documentos deben estar disponibles por acceso libre o acceso institucional para facilitar la visualización del contenido, (iii) verificar que se trate de publicaciones recientes, establecidas en el periodo de los últimos 5 años, (iv) pertenezcan a la clasificación: artículo de revista y revisión sistemática, (v) están relacionados al tema en objetivo y conceptos relacionados, en este investigación son: capacitación y entrenamiento, realidad virtual, seguridad laboral y prevención de riesgos, (vi) deben describir y evaluar intervenciones estratégicas o soluciones referenciadas a la capacitación y prevención de riesgos que utilicen la realidad virtual como herramienta principal o integral, (vii) deben proporcionar resultados medibles, evaluaciones efectivas, o análisis y propuestas de aplicación del concepto de RV en términos de adquisición de competencias laborales, que evidencien la mejora del desempeño laboral u otros resultados relevantes.

Asimismo, se implementó una estrategia de exclusión rigurosa para descartar las investigaciones que carecían de una conexión directa con la capacitación y prevención de riesgos en el uso de maquinaria, en el contexto particular de la CDS. Asimismo, se omitieron de consideración aquellas indagaciones que profundizaban en temáticas asociadas a la construcción civil y la minería, dado que el enfoque principal de esta revisión se focalizaba en otros aspectos inherentes a la CDS. Esta determinación se adoptó con la finalidad de canalizar la revisión hacia áreas más pertinentes y alineadas con los objetivos establecidos.

### 3. Resultados y discusión

En la presente sección, se exponen los resultados derivados del rastreo en múltiples bases de datos. Se identificaron los artículos pertinentes que se ajustaban a los criterios de inclusión establecidos, lo cual se detalla en la Tabla 2, evidenciando la concordancia entre la estrategia diseñada y los hallazgos obtenidos.

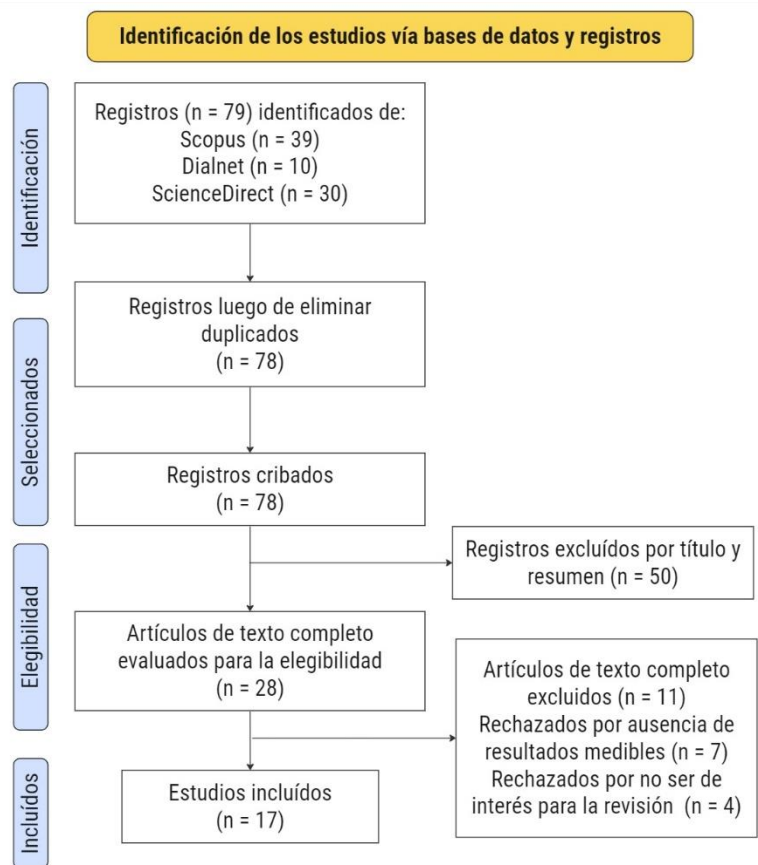
**Tabla 2**

Número de artículos encontrados en cada base de datos

Base de datos	Número de artículos encontrados
Scopus	39
Dialnet	10
ScienceDirect	30
<b>Total</b>	<b>79</b>

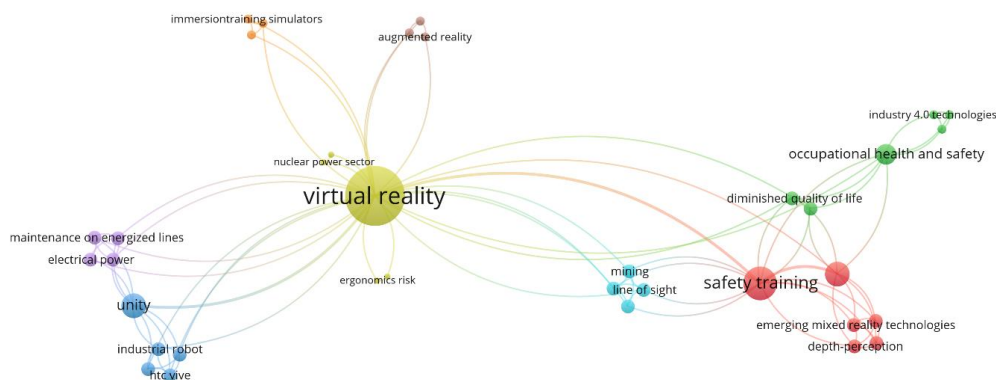
*Nota.* La tabla revela que la cantidad de artículos recuperados en Scopus fue notablemente superior, a pesar de emplear una fórmula de búsqueda más específica.

La investigación arrojó un total de 79 registros en 3 bases de datos, como se puede observar en la Figura 1. Se detectó un solo registro duplicado durante este proceso de búsqueda. Tras un minucioso examen de los registros, teniendo en cuenta tanto los títulos como los resúmenes, se logró reducir la selección inicial a 28 artículos. Estos 28 registros se consideraron como potencialmente relevantes y se mantuvieron para la posterior evaluación a través del análisis completo de los textos. Entre los 28 estudios evaluados, se encontró que 17 cumplían con los criterios de inclusión establecidos. Los restantes 11 registros fueron excluidos debido a diversas razones, principalmente porque los estudios no presentaban una validación cuantificable del sistema de realidad virtual desarrollado, o se enfocaban en la capacitación relacionada con el uso de maquinarias en sectores específicos como la construcción civil, el mantenimiento de trenes o la minería.



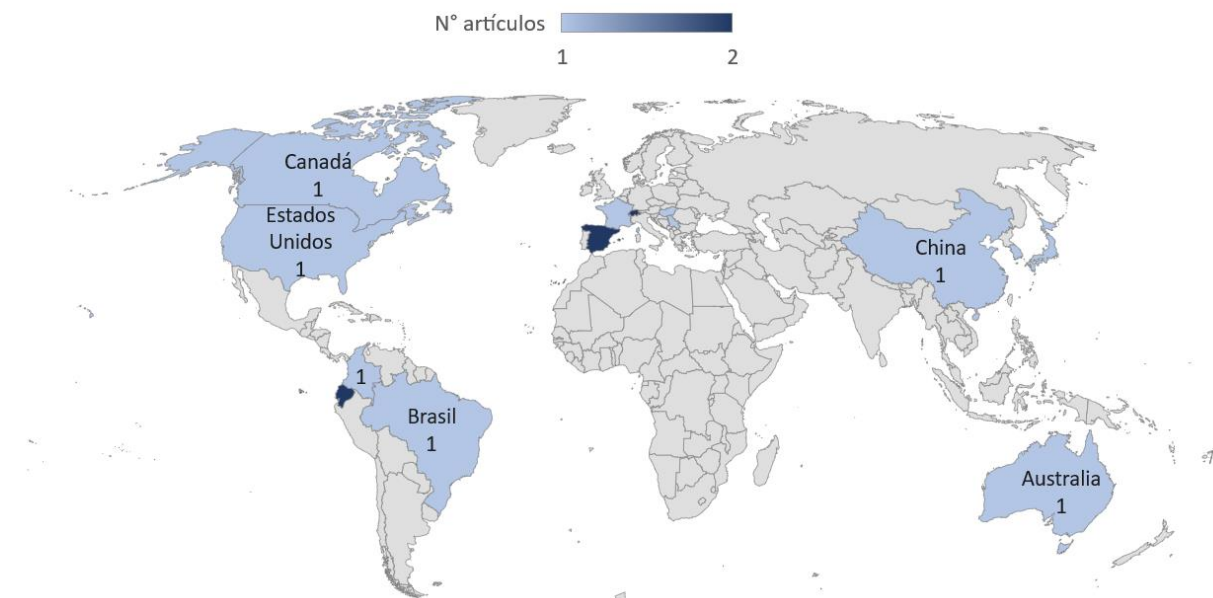
**Figura 1.** Diagrama de flujo PRISMA

Con los artículos seleccionados, se empleó el software VOSViewer para identificar las palabras clave predominantes. En la Figura 2, se muestran las palabras con mayor número de ocurrencias entre los artículos seleccionados, siendo “*virtual reality*” (realidad virtual) la base principal para correlacionar con otros términos como “*safety training*” (entrenamiento de seguridad) o “*Unity*”, que es la herramienta que predomina en los artículos para aplicar realidad virtual.



**Figura 2.** Diagrama en VOSViewer de palabras clave

Adicionalmente, los artículos incluidos en la investigación provienen de diversos países, de los cuales destacan España, Ecuador y Suiza con dos artículos cada país. También Australia, Canadá, Japón, Corea del Sur, Francia, Hungría, Serbia, Estados Unidos, China, Brasil y Colombia han aportado en la temática. En la Figura 3, se observa que los artículos provienen de los continentes América, Europa, Asia y Oceanía. Recoger información de diversos orígenes geográficos, pues se aborda la variabilidad de poblaciones, aspectos culturales y diferencias contextuales, que conlleva a un mejor análisis del tema [10].



**Figura 3.** Procedencia por país de los artículos incluidos

*Nota.* La figura muestra una representación de la producción literaria encontrada, donde cada país se repite como máximo dos veces, caso de España, Ecuador y Suiza.

En base a los artículos incluidos, se procedió a identificar los principales resultados de cada estudio, los cuales se muestran en la Tabla 3 con el fin de proporcionar una visión general de los hallazgos para esta revisión sistemática.



**Tabla 3**

Lista de artículos incluidos en la revisión sistemática según los criterios de inclusión

Autores	Resultados principales
Shringi et al. [11]	Los visores de realidad virtual (VR) aumentan la eficiencia del entrenamiento de seguridad virtual al brindar una mayor inmersión, realismo y percepción de profundidad, al mismo tiempo que incrementan la precisión en la identificación de peligros para riesgos críticos, como los cables eléctricos.
Gauthier et al. [12]	La intervención de realidad virtual no fue efectiva para aumentar el conocimiento de visibilidad y los comportamientos seguros de los operarios en comparación con los grupos de control, aunque el desempeño de los grupos de realidad virtual y entrenamiento convencional fue comparable.
Monetti et al. [7]	Aprender a partir de un modelo de realidad virtual permite dominar rápidamente y de manera sencilla la conducción de un robot real.
García et al. [13]	El resultado clave de este artículo es mostrar el diseño, construcción y ajuste fino de un entorno didáctico inmersivo para capacitar a los trabajadores en procesos de petróleo y gas en los cuales interviene la puesta en marcha de instrumentación.
Hashimoto [14]	Los participantes que utilizaron el simulador mostraron un menor riesgo de ingresar a áreas peligrosas durante el trabajo real en comparación con el grupo de video.
Lee y Ma [15]	Se encontró que el efecto de entrenamiento del OTS fue aproximadamente 4.5 veces mejor que los métodos de entrenamiento tradicionales.
Masiello et al. [16]	Se pudo mostrar datos valiosos, actitudes positivas y percepciones de facilidad por parte de los participantes. Además, se recalca la utilidad del entrenamiento por simulación como un complemento a los métodos tradicionales, especialmente donde la seguridad es lo más importante.
Vidal-Balea et al. [17]	La propuesta del sistema de virtualización para el entrenamiento de operadores proporciona mejoras en la seguridad y eficiencia de los procesos de mantenimiento, al mismo tiempo que facilita el entrenamiento colaborativo.
Lanyi y Withers [18]	La realidad virtual, la realidad aumentada y el Internet de las cosas (IoT) son cada vez más adecuados para su uso en la industria, a pesar de enfrentar escrutinio y críticas.
Lalić et al. [19]	VR y AR pueden utilizarse con éxito para mejorar la productividad de los trabajadores, mejorar la capacitación de los empleados, reducir costos, hacer que los lugares de trabajo sean más seguros y cerrar la brecha de habilidades de manera más efectiva y eficiente.

---

Moreno et al. [20]	La eficiencia del sistema generado por la interacción humano-máquina en la que los operadores interactúan entre sí y con el entorno, facilitando la inmersión en un ambiente que contribuye al desarrollo de sus habilidades y capacidades colaborativas sin riesgos.
Arana-Landín et al. [24]	La capacitación mediante realidad virtual reduce la cantidad de accidentes en comparación con los métodos de capacitación tradicionales.
Kim et al. [22]	La experimentación de los accidentes virtuales mitiga efectivamente la habituación al riesgo tanto a nivel conductual como sensorial.
Ji et al. [23]	Al utilizar DQL-VR, se observaron mejores resultados a diferencia de los métodos tradicionales en múltiples aspectos, como la identificación de peligros, la percepción de riesgos y la consideración de la salud a largo plazo.
Menin et al. [24]	Los resultados de la investigación destacan que el conocimiento y la experiencia previa de los usuarios son factores importantes en las simulaciones de realidad virtual.
Diego y Poveda [8]	Se realizó una evaluación basada en el modelo de Kirkpatrick, generando el cuestionario, cuyos resultados arrojó valores medios superiores en el grupo de trabajadores que realizaron la formación empleando contenidos VR frente a los que no. (21.51 frente a 24.26).
Cardenas y Olarte [25]	La integración de elementos hápticos aplicados en escenarios con alto de nivel de realismo representa un aporte significativo a la problemática de disminución de la tasa de accidentalidad en el trabajo a partir de la generación de espacios seguros de entrenamiento.

---

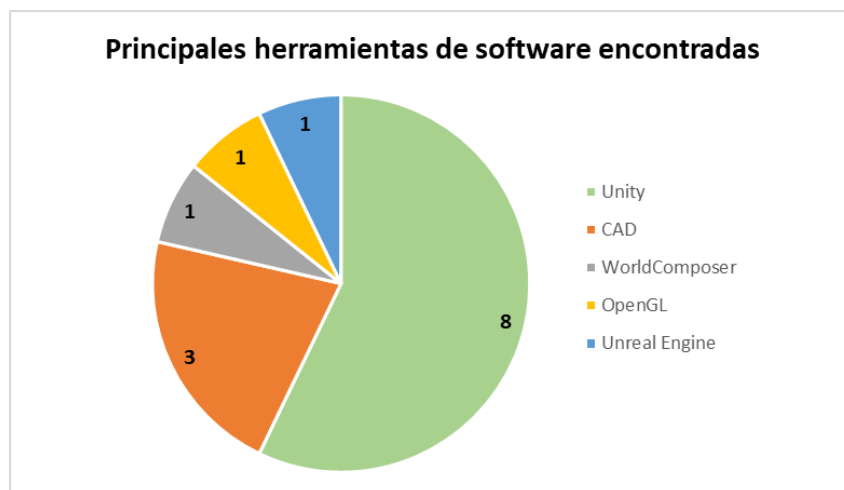
Los resultados detallados a continuación mostraron que la RV ofrece una valiosa contribución a la formación y capacitación de empleados en el manejo y prevención de riesgos en varios aspectos. Entre ellos, se destaca el fortalecimiento de las habilidades de prevención e identificación de riesgos, la promoción de la seguridad y la salud en el trabajo, así como la reducción de costos al utilizar entornos y equipos virtuales. Además, los dispositivos de realidad virtual juegan un papel fundamental en la capacitación mediante esta tecnología, ya que aseguran una experiencia del usuario inmersiva en entornos virtuales y facilitan una interacción realista.

### **3.1. Herramientas y dispositivos para la gestión de riesgos usando Realidad Virtual**

La experiencia de los usuarios en los entornos virtuales desempeña un papel crucial en los resultados del uso de la realidad virtual (RV) para la capacitación de empleados, principalmente en la promoción de la sensibilización respecto al riesgo inherente [8], [24]. En particular, se

han encontrado hallazgos relevantes enfocados en los operadores industriales, con el propósito de prevenir situaciones de riesgo y facilitar la ejecución segura de tareas industriales [7]. Estas herramientas también contribuyen significativamente a evitar la habituación al riesgo al exponer a los empleados a simulaciones realistas de situaciones de riesgo [22].

Sin embargo, en las pruebas de capacitación que utilizaron la realidad virtual (RV), se han reportado inconvenientes que incluyen inestabilidad, mareos debido al movimiento, falta de nitidez y bajos niveles de usabilidad tanto en el software como en el hardware [16]. Por lo tanto, resulta relevante examinar las herramientas que han demostrado un rendimiento destacado en estudios actualizados. En la Figura 4 se muestra la identificación de las principales herramientas de software utilizadas en los diferentes estudios analizados.



**Figura 4.** Principales herramientas de software

Como resultado de la indagación, se identificó que la principal herramienta de software utilizada para la creación de entornos virtuales es Unity, con un total de 8 menciones. Unity es ampliamente reconocida y utilizada en la industria debido que es una interfaz fácil de usar [20].

Además de Unity, se encontró que el software CAD (Computer-Aided Design) también fue mencionado en 3 ocasiones como una herramienta utilizada en el desarrollo de entornos virtuales, este es utilizado especialmente porque facilita la creación, importación y ensamblaje de estructuras [20, 23]. Asimismo, se registró una mención para las herramientas WorldComposer, OpenGL y Unreal Engine. Aunque estas herramientas obtuvieron menos menciones, siguen siendo reconocidas en la industria y ampliamente utilizadas en la creación de entornos virtuales.

En cuanto a los lenguajes de programación que pueden ser utilizados en los diferentes motores de RV, como se muestra en la Tabla 4, se destaca la prominencia de Matlab, principalmente como un recurso complementario para otorgar mayor calidad a la simulación en conjunto con otros programas. Ha sido utilizado para simular el comportamiento de sistemas eléctricos y replicar fallos y situaciones críticas inducidas por eventos externos e internos [20]. De esta forma, la capacitación tendrá mejores resultados al brindar una experiencia más realista.

**Tabla 4.**

Lenguajes de programación encontrados

Herramienta	Frecuencia
C#	1
C++	1
Matlab	2
Python	1
<b>Total</b>	<b>5</b>

*Nota.* La tabla revela que, entre los estudios incluidos, Matlab es la herramienta de desarrollo más mencionada, especialmente para el desarrollo de comportamientos físicos realistas.

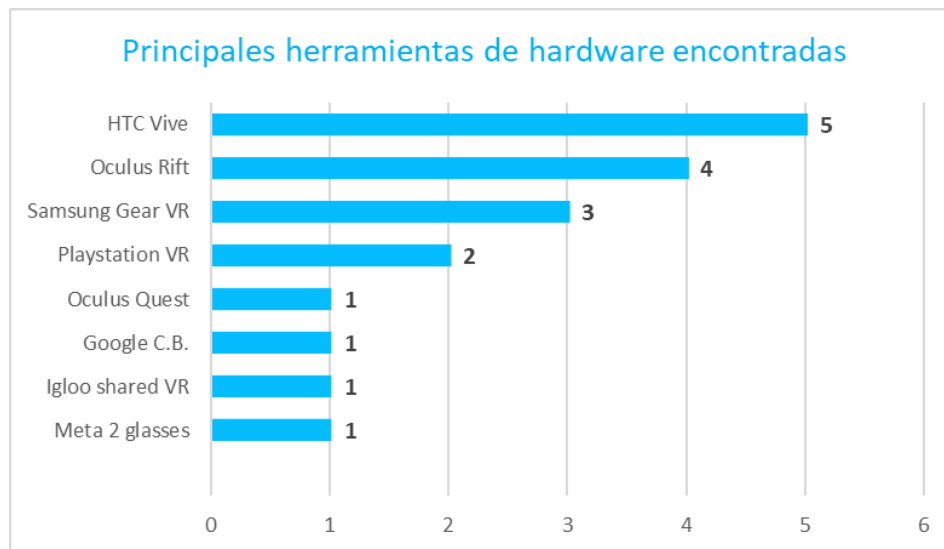
Una vez que los entornos de RV han sido creados y se ha completado la programación, es esencial utilizar equipos especializados que permitan a los usuarios interactuar con dichos entornos, brindándoles una experiencia inmersiva y facilitando su interacción. Para lograr esto, se emplean dispositivos especiales para la visualización de los entornos virtuales, que incluyen visores y controles que permiten la interacción en el entorno virtual, estos dispositivos se muestran en la Figura 5.



**Figura 5.** Dispositivos para la interacción con entornos virtuales. Fuente: Elaborada por Diego y Poveda, 2019

En base a la revisión, se encontraron las principales herramientas de hardware, que incluyen tanto visores como controles, para la interacción con entornos virtuales que se muestran en la Figura 6. Los visores HTC Vive son los más mencionados, seguidos por Oculus Rift y Samsung

Gear VR. Estos dispositivos son accesibles en términos de presupuesto y son capaces de ofrecer experiencias de alta calidad, así como capacidades avanzadas de interacción [25].



**Figura 6.** Principales herramientas de hardware encontradas

Además, se identificaron otros dispositivos con menciones menos frecuentes debido a que su uso no ha sido tan extendido en el campo industrial. No obstante, estos dispositivos también pueden ofrecer una experiencia inmersiva de alta calidad a un costo reducido gracias a la popularización de los dispositivos de RV y el avance tecnológico en los últimos años [8]. Aunque se han identificado múltiples de estos dispositivos, que proporcionan diversas funcionalidades para la capacitación en la gestión de riesgos, es importante tener en cuenta que la experiencia y el conocimiento del usuario en la utilización de estos equipos también influyen en los resultados de adquisición de conocimientos y habilidades en este campo [24], por lo tanto, es importante evaluar este aspecto antes de llevar a la aplicación el uso de esta tecnología.

### **3.2. Beneficios de la realidad virtual en la capacitación en la gestión de riesgos**

La implementación de un entorno virtual en el ámbito de procedimientos sobre petróleo y gas se ha encontrado que este entorno virtual sirve para capacitar a los trabajadores en el manejo de estos, disminuyendo así los riesgos y errores en el entorno real [13].

La incorporación de tecnologías, como realidad virtual y aumentada, en procesos comerciales e industriales, se ha demostrado que ofrecen numerosas ventajas en la formación de empleados de la industria, especialmente en términos de seguridad y conciencia de riesgos asociados a ciertos procedimientos [19]. Esto se debe en parte a las simulaciones inmersivas que ofrece la

tecnología, las cuales facilitan una mejor retención del conocimiento en comparación con los enfoques de capacitación tradicionales, siendo solo uno de los muchos beneficios identificados.

En la figura 6, se observan los principales beneficios que ofrece la aplicación de la tecnología de realidad virtual en relación con las capacitaciones para la gestión de riesgos en las organizaciones.



**Figura 6.** Beneficios de capacitación con RV relacionado a la gestión de riesgos

La irrupción de la Industria 4.0 ha impulsado el incremento de la eficiencia y la productividad en diversas áreas, posibilitando la automatización de tareas, la optimización de procesos y el aumento de la velocidad de ejecución. Uno de los ámbitos beneficiados por estos avances es la gestión de los recursos humanos y todos los conceptos inherentes a esta disciplina. Resulta innegable que los métodos de capacitación actuales para los empleados en diversas industrias se centran en la impartición de teoría de manera monótona y prolongada, lo cual resulta en una escasez de interacción que conlleva a una disminución del interés por parte de los empleados [15]. Por tanto, el surgimiento de tecnologías innovadoras, como la realidad virtual (RV), tiene un notable impacto al proporcionar beneficios enfocados en el conocimiento, el aprendizaje, la seguridad y la confianza. La RV optimiza la adaptación del nuevo personal, pues proporciona interfaces de interacción que simulan la naturalidad, lo cual genera una experiencia más placentera y facilita la transferencia de conocimiento potencial que surge al adaptarse a la experiencia real [19, 24].

En la investigación de [14] donde bajo el entrenamiento en un simulador para la operación de torno manual, se encontró que el desempeño de los operadores generaba menos errores y tiempos de interrupción para realizar la siguiente fase del proceso. Por lo que concluyó en una

ventaja estadística del entrenamiento en RV, contra la capacitación en video, teniendo como logro que el operador capacitado pueda recordar las fases y procesos de trabajo de una forma eficaz, confiable y precisa.

Acerca del desarrollo de un simulador de entrenamiento de operadores, luego de la construcción del software y el entrenamiento correspondiente de los operarios mediante el entorno de RV, efectuaron una comparación con la capacitación tradicional tipo conferencia, donde obtuvo como resultado que el efecto de la capacitación es aproximadamente 4,5 veces mejor e incluso, el costo pudo reducirse aproximadamente 8 veces [15].

Previsiblemente, otro de los beneficios más destacados de esta alternativa es su impacto en el ámbito económico. La implementación de tecnología inmersiva en la capacitación permite reducir tanto los costos como los riesgos asociados [8,19]. Además, al llevar a cabo los entrenamientos en este tipo de entorno inmersivo los principiantes no se ven expuestos a situaciones potencialmente peligrosas ni incurren en gastos derivados de reparaciones o adquisiciones de nuevos instrumentos [11, 13]. En consecuencia, se convierte en una opción rentable y segura para la realización de capacitaciones efectivas.

### **3.3. Limitaciones y desafíos de la realidad virtual en la capacitación en la gestión de riesgos**

Se resalta la importancia de diferentes *stakeholders* para mejorar la SST (Seguridad y Salud en el Trabajo) en las empresas [21]. Sin embargo, no proporciona información detallada sobre estas perspectivas, lo que podría limitar la comprensión de los desafíos que enfrentan las diferentes partes interesadas y dificultar el desarrollo de estrategias efectivas. Además, los mismos autores afirman que es necesario crear un protocolo para asegurar la capacidad (consulta con médicos) de cada trabajador para utilizar las gafas de realidad virtual. Adicionalmente, se detectó limitaciones como un número reducido de participantes para realizar los experimentos, lo cual podría haber generado sesgos en los resultados obtenidos [24].

Se han desplegado numerosas aplicaciones de RV orientadas a la instrucción de operadores neófitos en las prácticas de optimización en distintas fases de la CDS, como es el caso de la robótica; sin embargo, los resultados concernientes a los beneficios que estos usuarios puedan adquirir al emplear dichas tecnologías parecen estar fragmentados y presentar contradicciones entre sí [7].

De acuerdo con [16], es posible que el hardware disponible actualmente no sea adecuado para todas las tareas y etapas de la producción industrial, y los fabricantes de hardware desempeñan un papel clave para facilitar (o dificultar) la adopción generalizada de la tecnología AR/VR. Por otro lado, uno de los desafíos encontrados es el desarrollo de sistemas de RV para la capacitación colaborativa que mantengan una latencia aceptable a medida que el número de usuarios aumenta, lo cual es importante en una aplicación real de esta tecnología [17].

En la misma línea, [12] mencionan que la efectividad de la RV para incrementar la conciencia de los operarios sobre la poca visibilidad durante el uso de maquinaria pesada fue marginal a comparación de un entrenamiento mediante un programa de escritorio o un entrenamiento tradicional, en donde las tres implementaciones consiguieron resultados menores al mínimo aceptable de la prueba tomada para garantizar una correcta transferencia de conocimiento sobre el tema. Finalmente, los autores comentan que el espacio tridimensional diseñado para el entorno virtual no era lo suficientemente preciso para entrenar correctamente sobre problemas de visibilidad y puntos ciegos en el manejo de equipos industriales.

#### **4. Conclusiones**

La revisión sistemática realizada ha identificado que la realidad virtual (RV) es una herramienta efectiva para la formación de trabajadores de la cadena de suministro en gestión de riesgos. Se destaca su capacidad para fortalecer las habilidades de prevención e identificación de riesgos, fomentar la seguridad y la salud durante el trabajo, así como reducir costos. El uso de la RV evita la necesidad de adquirir equipos y materiales reales, al tiempo que minimiza los riesgos al no exponer a los aprendices a situaciones peligrosas. Así mismo, como resultado de la revisión, se identificaron las herramientas principales, como Unity como motor gráfico y Matlab u otros lenguajes de programación para mejorar la precisión de las simulaciones en términos de comportamiento físico realista. Se identificaron también limitantes y desafíos, siendo los principales la adquisición de los dispositivos de realidad virtual y el poco beneficio en la transferencia de conocimiento a comparación de métodos tradicionales. A pesar de ello, la mayoría de los estudios analizados presentan resultados positivos y ofrecen una perspectiva prometedora sobre el futuro de la virtualización.



## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Chiplunkar, Z. & Sajeli, B. (2023). The Past Present and Future of Virtual and Augmented Reality. *International Journal of Advanced Research in Science, Communication and Technology*, 270–275. <https://doi.org/10.48175/ijarsct-815>
- [2] Han, Y. (2023). Virtual Reality in Engineering Education. *SHS Web of Conferences* (Vol. 157, p. 02001). EDP Sciences. <https://doi.org/10.1051/shsconf/202315702001>
- [3] Chen, C. L. (2019). Value creation by SMEs participating in global value chains under industry 4.0 trend: Case study of textile industry in Taiwan. *Journal of Global Information Technology Management*, 22(2), 120-145. <https://doi.org/10.1080/1097198X.2019.1603512>
- [4] Ghobakhloo, M., & Iranmanesh, M. (2021). Digital transformation success under Industry 4.0: a strategic guideline for manufacturing SMEs. *Journal of Manufacturing Technology Management*, 32(8), 1533–1556. <https://doi.org/10.1108/JMTM-11-2020-0455>
- [5] Belman-Lopez, C. E., Jiménez-García, J. A., & Hernández-González, S. (2020). Análisis exhaustivo de los principios de diseño en el contexto de industria 4.0. *Revista Iberoamericana De Automatica E Informatica Industrial*, 17(4), 432. <https://doi.org/10.4995/riai.2020.12579>
- [6] Checa, D., Martínez, K., Osornio-Rios, R. A., & Bustillo, A. (2021). Virtual reality opportunities in the reduction of occupational hazards in industry 4.0. *Dyna* (Spain), 96(6), 620–626. <https://doi.org/10.6036/10241>
- [7] Monetti, F. M., de Giorgio, A., Yu, H., Maffei, A., & Romero, M. (2022). An experimental study of the impact of virtual reality training on manufacturing operators on industrial robotic tasks. *Procedia CIRP*, 106, 33–38. <https://doi.org/10.1016/J.PROCIR.2022.02.151>
- [8] Diego, J. A., & Poveda, R. (2019). Realidad virtual para la mejora de los procesos formativos de los trabajadores para la prevención de riesgos ergonómicos. *Comunicaciones Presentadas al XXIII Congreso Internacional de Ingeniería de Proyectos: Celebrado En Málaga Del 10 al 12 de Julio de 2019*, 2019, 8. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8223851>
- [9] Page, M. J., McKenzie, J. E., Bossuyt, P. M., Boutron, I., Hoffmann, T. C., Mulrow, C. D., Shamseer, L., Tetzlaff, J. M., Akl, E. A., Brennan, S. E., Chou, R., Glanville, J., Grimshaw, J. M., Hróbjartsson, A., Lalu, M. M., Li, T., Loder, E. W., Mayo-Wilson, E.,

- McDonald, S., ... Moher, D. (2021). The PRISMA 2020 statement: an updated guideline for reporting systematic reviews. *BMJ*, 372, n71. <https://doi.org/10.1136/bmj.n71>
- [10] Centro Cochrane Iberoamericano (2012). Manual Cochrane de Revisiones Sistemáticas de Intervenciones. [https://es.cochrane.org/sites/es.cochrane.org/files/uploads/Manual\\_Cochrane\\_510\\_redui\\_t.pdf](https://es.cochrane.org/sites/es.cochrane.org/files/uploads/Manual_Cochrane_510_redui_t.pdf)
- [11] Shringi, A., Arashpour, M., Golafshani, E. M., Rajabifard, A., Dwyer, T., & Li, H. (2022). Efficiency of VR-Based Safety Training for Construction Equipment: Hazard Recognition in Heavy Machinery Operations. *Buildings*, 12(12). <https://doi.org/10.3390/buildings12122084>
- [12] Gauthier, S., Leduc, M., Perfetto, S. J., & Godwin, A. (2022). Use of Virtual Reality to Increase Awareness of Line-of-Sight Hazards around Industrial Equipment. *Safety*, 8(3). <https://doi.org/10.3390/SAFETY8030052>
- [13] García, C. A., Naranjo, J. E., Ortiz, A., & García, M. V. (2019). An Approach of Virtual Reality Environment for Technicians Training in Upstream Sector. *IFAC-PapersOnLine*, 52(9), 285–291. <https://doi.org/10.1016/J.IFACOL.2019.08.222>
- [14] Hashimoto, N. (2023). Training Simulator for Manual Lathe Operation Using Motion Capture - Addition of Teaching Function and Evaluation of Training Effectiveness –. *Journal of Robotics and Mechatronics*, 35(1), 145–152. <https://doi.org/10.20965/JRM.2023.P0145>
- [15] Lee, J., & Ma, B. (2023). An Operator Training Simulator to Enable Responses to Chemical Accidents through Mutual Cooperation between the Participants. *Applied Sciences 2023, Vol. 13, Page 1382*, 13(3), 1382. <https://doi.org/10.3390/APP13031382>
- [16] Masiello, I., Herault, R., Mansfeld, M., & Skogqvist, M. (2022). Simulation-Based VR Training for the Nuclear Sector—A Pilot Study. *Sustainability 2022, Vol. 14, Page 7984*, 14(13), 7984. <https://doi.org/10.3390/SU14137984>
- [17] Vidal-Balea, A., Blanco-Novoa, O., Fraga-Lamas, P., Vilar-Montesinos, M., & Fernández-Caramés, T. M. (2021). Collaborative Augmented Digital Twin: A Novel Open-Source Augmented Reality Solution for Training and Maintenance Processes in the Shipyard of the Future. *Engineering Proceedings 2021, Vol. 7, Page 10*, 7(1), 10. <https://doi.org/10.3390/ENGPROC2021007010>
- [18] Lanyi, C. S., & Withers, J. D. A. (2020). Striving for a Safer and More Ergonomic Workplace: Acceptability and Human Factors Related to the Adoption of AR/VR Glasses

- in Industry 4.0. *Smart Cities 2020*, Vol. 3, Pages 289-307, 3(2), 289–307. <https://doi.org/10.3390/SMARTCITIES3020016>
- [19] Lalić, D., Bošković, D., Milić, B., Havzi, S., & Spajić, J. (2020). Virtual and Augmented Reality as a Digital Support to HR Systems in Production Management. *IFIP Advances in Information and Communication Technology*, 591 IFIP, 469–478. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-57993-7\\_53](https://doi.org/10.1007/978-3-030-57993-7_53)
- [20] Moreno, E. F., Pacheco, E. E., Andaluz, V. H., & Mullo, Á. S. (2020). Multi-user Expert System for Operation and Maintenance in Energized Lines. *Advances in Intelligent Systems and Computing*, 1130 AISC, 454–472. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-39442-4\\_34](https://doi.org/10.1007/978-3-030-39442-4_34)
- [21] Arana-Landín, G., Laskurain-Iturbe, I., Iturrate, M., & Landeta-Manzano, B. (2023). Assessing the influence of industry 4.0 technologies on occupational health and safety. *Heliyon*, 9(3), e13720. <https://doi.org/10.1016/J.HELIYON.2023.E13720>
- [22] Kim, N., Grégoire, L., Razavi, M., Yan, N., Ahn, C. R., & Anderson, B. A. (2023). Virtual accident curb risk habituation in workers by restoring sensory responses to real-world warning. *IScience*, 26(1), 105827. <https://doi.org/10.1016/j.isci.2022.105827>
- [23] Ji, Z., Wang, Y., Zhang, Y., Gao, Y., Cao, Y., & Yang, S.-H. (2023). Integrating diminished quality of life with virtual reality for occupational health and safety training. *Safety Science*, 158, 105999. <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2022.105999>
- [24] Menin, A., Torchelsen, R., & Nedel, L. (2022). The effects of VR in training simulators: Exploring perception and knowledge gain. *Computers & Graphics*, 102, 402–412. <https://doi.org/10.1016/j.cag.2021.09.015>
- [25] Cardenas, V., & Olarte, F. A. (2022). Entrenamiento en gestión del riesgo en realidad virtual: Diseño e implementación de un entorno de entrenamiento para la prevención y gestión del riesgo laboral basado en realidad virtual e interacción háptica. *EDUTECH REVIEW: International Education Technologies Review / Revista Internacional de Tecnologías Educativas*, ISSN-e 2695-9925, Vol. 9, Nº. 1, 2022, Págs. 31-44, 9(1), 31–44. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8631384&info=resumen&idioma=EN>
- [G](#)