UNIVERSIDAD EL BOSQUE
Editorial

Investigaciones en salud y trabajo

Facultad de Medicina | Año 5, enero-marzo 2026, ISSN: 2954-6044

Grupo de investigación Salud, Ser Humano y Trabajo

n.º 17

Implementación de la realidad virtual para el entrenamiento de trabajadores en escenarios productivos

Diana Carolina Garzón Leal ORCID: https://orcid.org/0000-0002-9428-423X
Angie Alejandra Castelblanco R. ORCID: https://orcid.org/0009-0005-5135-9552
Sofia Garzón Cabrera ORCID: https://orcid.org/0009-0004-0216-1737
Clara Margarita Giraldo Luna ORCID: https://orcid.org/0000-0002-8388-3528
Alexandra Yepes Boada ORCID: https://orcid.org/0000-0002-3288-5400
Lidy Yadira Cetina ORCID: https://orcid.org/0009-0007-5575-2735
Diana Carolina Sánchez Calderón ORCID: https://orcid.org/0000-0002-5148-520X

n.º 17

Implementación de la realidad virtual para el entrenamiento de trabajadores en escenarios productivos

UNIVERSIDAD EL BOSQUE
Editorial

INVESTIGACIONES EN SALUD Y TRABAJO
n.° 17. Implementación de la realidad virtual para el entrenamiento de trabajadores en escenarios productivos

Año 5, n.° 13, enero-marzo 2026 | ISSN: 2954-6044
DOI: https://doi.org/10.18270/wpst.n5.17

© Universidad El Bosque
© Editorial Universidad El Bosque

Rectora: María Clara Rangel Galvis
Vicerrector de Investigaciones: Gustavo Silva Carrero

Editor académica:
© Alexandra Yepes Boada

© Angie Alejandra Castelblanco R.
© Sofia Garzón Cabrera
© Diana Carolina Garzón Leal
© Clara Margarita Giraldo Luna
© Lidy Yadira Cetina
© Diana Carolina Sánchez Calderón

Editor Universidad El Bosque:
Miller Alejandro Gallego Cataño

Coordinación editorial: Leidy De Ávila Castro
Corrección de estilo: Estefany Escallón Ibáñez
Dirección gráfica y diseño: María Camila Prieto Abello
Diagramación: Luisa Gil

Hecho en Bogotá D. C., Colombia
Vicerrectoría de Investigaciones
Editorial Universidad El Bosque
Av. Cra 9 n.° 131A-02, Bloque A, 6.° piso
(601) 648 9000, ext. 1100
editorial@unbosque.edu.co
https://investigaciones.unbosque.edu.co/editorial

Marzo de 2026
Bogotá, Colombia

Todos los derechos reservados. Esta publicación no puede ser reproducida ni en su todo ni en sus partes, ni registrada en o transmitida por un sistema de recuperación de información, en ninguna forma ni por ningún medio, sea mecánico, fotoquímico, electrónico, magnético, electro-óptico, por fotocopia o cualquier otro, sin el permiso previo por escrito de la Editorial Universidad El Bosque.

Universidad El Bosque | Vigilada Mineducación. Reconocimiento como universidad: Resolución n.° 327 del 5 de febrero de 1997, MEN. Reconocimiento de personería jurídica: Resolución 11153 del 4 de agosto de 1978, MEN. Reacreditación institucional de alta calidad: Resolución n.° 013172 del 17 de julio 2020, MEN.

363.11 G245
Garzón Leal, Diana Carolina

Implementación de la realidad virtual para el entrenamiento de trabajadores en escenarios productivos / Diana Carolina Garzón Leal, Angie Alejandra Castelblanco R., Sofia Garzón Cabrera, Clara Margarita Giraldo Luna, Alexandra Yepes Boada, Lidy Yadira Cetina, Diana Carolina Sánchez Calderón; editor Miller Alejandro Gallego Cataño – Bogotá (Colombia): Editorial Universidad El Bosque, Vicerrectoría de Investigaciones, Facultad de Medicina, 2026.

74 páginas
Investigaciones en Salud y Trabajo
Grupo de Investigación Salud, Ser Humano y Trabajo
Año 5, No. 17 enero-marzo 2026

ISSN: 2954-6044

1. Accidentes de trabajo 2. Realidad virtual – Trabajadores 3. Productividad del trabajo 4. Innovaciones tecnológicas -- Trabajadores

I. Garzón Leal, Diana Carolina II. Castelblanco R. Angie Alejandra III. Garzón Cabrera, Sofia IV. Giraldo Luna, Clara Margarita V. Yepes Boada, Alexandra VI. Cetina, Lidy Yadira VII. Sánchez Calderón, Diana Carolina VIII. Gallego Cataño, Miller Alejandro IX. Universidad El Bosque X. Vicerrectoría de Investigaciones XI. Facultad de Medicina.

Fuente. SCDD 23ª ed. – Universidad El Bosque. Biblioteca Juan Roa Vásquez (abril de 2025) – LM

UNIVERSIDAD EL BOSQUE
Editorial

Investigaciones en salud y trabajo

Facultad de Medicina | Año 5, enero-marzo 2026, ISSN: 2954-6044

Grupo de investigación Salud, Ser Humano y Trabajo

n.º 17

Implementación de la realidad virtual para el entrenamiento de trabajadores en escenarios productivos

Contenido

1. Introducción Pág. 8

2. La realidad virtual (RV) Pág. 12

3. Procesos de aprendizaje para implementar realidad virtual Pág. 20

4. Estrategias para entrenamiento con realidad virtual (RV) Pág. 26

5. Evidencia de entrenamiento con realidad virtual (RV) Pág. 36

6. Consideraciones finales Pág. 50

7. Referencias Pág. 58

1. Introducción

Los accidentes laborales son uno de los mayores problemas de la industria, ya que producen consecuencias tanto en la integridad física, mental y social de los trabajadores, así como en la productividad de las empresas (1). La Organización Internacional del Trabajo (OIT) y la Organización Mundial de la Salud (OMS), en 2016, evidenciaron que las enfermedades y los traumatismos relacionados con el trabajo provocaron la muerte de 1,9 millones de personas en el mundo (2). En España, durante el año 2022, se registraron 653 510 accidentes de trabajo que generan ausentismo laboral (3). En Colombia, en el 2023, se observó un incremento del 9,3 % en la accidentalidad laboral en comparación con el primer semestre del año anterior (4), alcanzando un total de 542 983 accidentes laborales y registrando un aumento del 6 % con respecto a 2021 (5).

La evidencia demuestra que actuar sobre los factores de riesgo tiene una influencia significativa en la probabilidad de que ocurra un accidente; es por ello que las diferentes estrategias y herramientas para prevenir la accidentalidad laboral son un tema de interés global. Diversos autores han estudiado estas estrategias, entre las que figura el entrenamiento, entendido como un tipo de actividad que está planeada de manera sistemática y que resulta en una mejora de las habilidades, conocimientos y competencias de los trabajadores, así como en el desempeño económico, incluyendo la reducción de rotaciones, ausentismo, conflictos y mejorando la calidad del servicio (6). Asimismo, se ha demostrado que el entrenamiento puede aplicarse tanto para la contratación de nuevos trabajadores como para la formación continua de los mismos, con el objetivo de que los conocimientos adquiridos se trasladen al ámbito laboral (7) y permitan al trabajador un desempeño seguro y asertivo en sus labores.

Existen distintos tipos de entrenamiento, entre los cuales se incluyen: inducción y/o orientación del tra-

bajo, en el que se forma al trabajador en los aspectos directamente relacionados con las labores que desarrolla o desarrollará; reentrenamiento; formación de prácticas y formación de aprendices (8). A su vez, existen distintos metodologías mediante las cuales estos entrenamientos pueden ser impartidos, tales son: orientaciones, conferencias, rotaciones de posición, juego de roles, estudio de casos, cursos especiales, entrenamientos en laboratorios y juegos (9). Las nuevas tecnologías emergen como una herramienta innovadora y poderosa para transformar el entrenamiento laboral; la realidad virtual (RV) ofrece oportunidades en la generación de espacios de entrenamiento que requieran menos tiempo, sean más efectivos y menos costosos (10).

Sobre la base de las consideraciones anteriores, resulta beneficioso realizar una revisión de literatura que consolide el conocimiento actual sobre el uso de realidad virtual en el entrenamiento laboral, permitiendo ampliar las estrategias utilizadas para preparar a sus trabajadores.

2. La realidad virtual

La Realidad Virtual (RV), de acuerdo con LaValle (11), es el proceso de inducir un comportamiento específico en un organismo mediante el uso de una estimulación sensorial artificial, lo que permite al cuerpo aceptar otra realidad. Por otro lado, Giraldi et al. (12), definen la RV como un término utilizado para describir entornos en 3D generados por un ordenador, que permiten al usuario entrar e interactuar con realidades alternativas. El autor refiere que, en este contexto, los usuarios pueden sumergirse en diversos grados en el mundo artificial creado, que puede ser una simulación de un entorno o alguna forma de realidad, y el objetivo del espacio creado es reproducir los aspectos del entorno real con la mayor exactitud posible para crear la ilusión de una realidad alternativa (12). Esto puede implicar no sólo imágenes tridimensionales, sino la incorporación de sonidos tridimensionales, generación artificial de olores y *force-feedback* (tecnología que proporciona la sensación del tacto) (12).

A su vez, el grado de inmersión de los usuarios en el entorno virtual puede variar, presentándose tres tipos de sistemas: inmersivos, en los que el usuario lleva un dispositivo en la cabeza (HMD), que proporciona información visual y sonora en 3D, además de algún tipo de dispositivo de entrada manual, como un guante de datos o *joysticks* 3D (13); semi-inmersivos o de proyección, en los que el usuario utiliza gafas y un dispositivo de seguimiento de movimientos en la cabeza, manteniendo algún contacto con elementos que forman parte del mundo real (13); y no inmersivos o dispositivos portátiles (HHD), que son aquellos a los que se accede mediante el uso de una pantalla, junto con otros elementos que favorecen la interacción del usuario, como el teclado, el ratón y el micrófono, entre otros *gadgets* (13) (Figura 1).

Figura 1

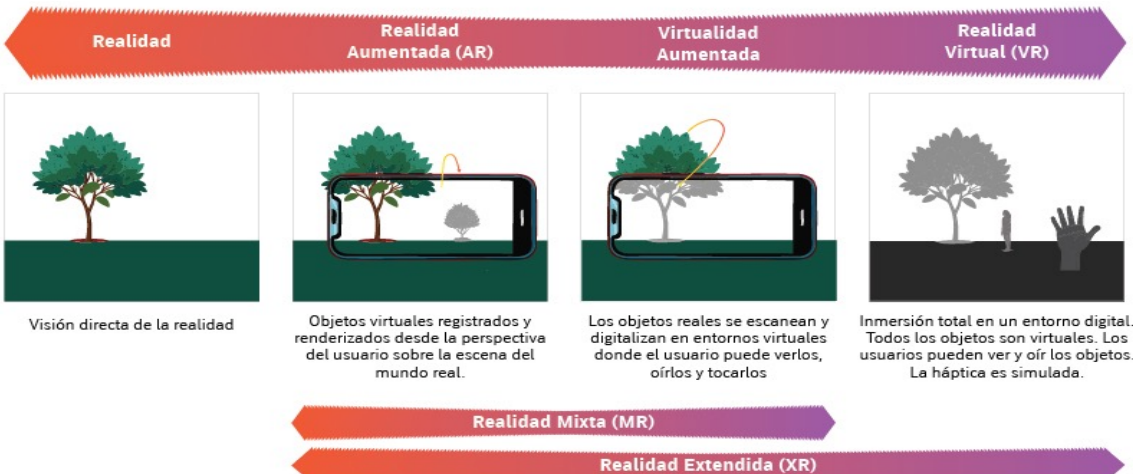
Uso HMD y HHD

Fuente: (72)

Surgen dos términos conectados con la realidad virtual: la realidad aumentada (RA) y la realidad mixta (RM), cuya diferencia con la primera es que estas permiten combinar el mundo real con el mundo virtual, superponiendo contenidos visuales (texto, imágenes y modelos) generados por computadora sobre el ambiente físico del mundo real (14). Los autores mencionan que la RM puede considerarse un avance de la RA, pues mientras esta última sobrepone los contenidos virtuales sobre los objetos del mundo real, la primera ancla estos contenidos, permitiendo a los usuarios interactuar con los elementos generados en el mundo virtual (14). Finalmente, se tiene en cuenta el concepto de realidad extendida, que engloba los términos tratados previamente, cuyo objetivo es crear una experiencia inmersiva para los usuarios, integrando distintos estímulos sensoriales que simulan el mundo real dentro de un continuo virtual (15). Los términos descritos previamente hacen alusión al continuum de la realidad virtual, que cuenta con distintos niveles de inmersión y dispositivos para la misma (Figura 2).

Figura 2

Continuum de realidad virtual



Fuente: elaborado por el diseñador Juan Carlos Angulo.

Con la llegada de la Industria 4.0, las tecnologías avanzadas como la RV se han vuelto fundamentales para transformar los procesos de capacitación y adaptación en el entorno laboral. La Industria 4.0 se caracteriza por la integración de tecnologías digitales y físicas, facilitando la creación de fábricas inteligentes que pueden responder de rápidamente a los cambios en la producción y las demandas del mercado (16). En este contexto, la RV se convierte en una herramienta clave para el entrenamiento de los trabajadores, permitiendo simulaciones inmersivas que replican entornos de trabajo complejos y peligrosos sin los riesgos asociados (17).

La literatura cuenta con información acerca de la aplicación de RV en distintos campos, como son la salud, los deportes, la industria y la educación. En el campo de salud, se destacan sus beneficios en los procesos de rehabilitación de pacientes de distintas edades con condiciones neurológicas, como en el caso del Parkinson, ya que estas tecnologías permiten que los pacientes realicen sus actividades en ambientes controlados, inmersivos y seguros, replicando escenarios de la vida real, lo que facilita la adquisición de habilidades motoras transferibles a la vida diaria (18). Igualmente, se ha considerado positiva la aplicación de RV para este tipo de procesos, superando algunas dificultades de la terapia convencional, como la baja adherencia al tratamiento y los costos (18).

También, se ha destacado su uso en los procesos de rehabilitación de personas con accidentes cerebrovasculares, que suelen presentar limitaciones en la movilidad en miembros superiores e inferiores. Se ha comprobado que la aplicación de RV para la rehabilitación de estos pacientes genera cambios en la conectividad neuronal y promueve una mayor motivación, una menor demanda física y un espacio más efectivo para la rehabilitación (19). Del mismo modo, se ha documentado el uso de estas tecnologías como una alternativa para manejar el dolor en pacientes quemados, utilizándose

la RV como un método de distracción durante procesos dolorosos, como curaciones, terapia física y cambios de posición, mientras el paciente está inmerso en un entorno tridimensional generado por un dispositivo que le permite estar en un lugar distinto, determinado por la computadora (20).

En el campo de la salud, se ha introducido el término salud digital, que combina la tecnología con el cuidado de la salud para mejorar los resultados de los pacientes, reducir costos y mejorar la prestación del servicio (21). Parte de las tecnologías utilizadas en este modelo es la RV, que ofrece un espacio inmersivo para profesionales de la salud y pacientes, facilitando la visualización e interacción con información médica de una manera más intuitiva, lo que mejora la educación al paciente y los procesos médicos, como el diagnóstico, tratamiento y resultados generales del paciente, promoviendo una mayor adherencia a los tratamientos y un mejor entendimiento de la patología para los pacientes (21).

La RV también ha sido aplicada en el área de la psicología desde diferentes dominios:

- *Desarrollo*: promueve la socialización y autocontrol en niños.
- *Clínico*: contribuye al tratamiento de fobias y trastornos alimentarios.
- *Social*: reduce los prejuicios y mejora el comportamiento prosocial mediante el desarrollo de habilidades de manipulación de variables y control.
- *Organizacional*: mejora la productividad de los empleados y el manejo del estrés.
- *Deportivo*: incrementa la motivación y toma de decisiones de los atletas.
- *Neuropsicología*: favorece el diagnóstico temprano y la rehabilitación en condiciones como el trauma craneoencefálico y Parkinson y disminuye el índice de autismo (22).

En el ámbito de la actividad física y deporte, se ha evidenciado el uso de RV para realizar actividades que promuevan una mayor adherencia al ejercicio, permitiendo una personalización de la actividad y fomentando un mayor nivel de motivación y participación. Se ha demostrado que los espacios inmersivos permiten alcanzar una intensidad de ejercicio similar o mayor que los métodos de ejercicio tradicionales, demostrando su potencial para mejorar los niveles de actividad física (23). Asimismo, se estudió su aceptación, futura por parte de trabajadores de oficina durante las pausas activas en comparación con entrenamientos sin RV, destacándose una preferencia significativa por el ejercicio de realidad virtual inmersiva, con niveles altos de aceptación, disfrute y usabilidad, además de una mayor sensación de control y presencia (24).

En el ámbito educativo, la RV se ha reconocido como una herramienta innovadora y efectiva, especialmente en la educación secundaria y superior, ya que permite combinar los ambientes virtuales de aprendizaje con características inmersivas e interactivas. Esto mejora la adherencia al entorno educativo y facilita el entendimiento del currículo educacional y una mayor ganancia de conocimiento gracias a la facilidad de interacción con los elementos presentados en estos espacios, que promueve un uso intuitivo de la información (25).

La RV se ha utilizado en diversas áreas educativas, como la medicina, sirviendo como una herramienta para el aprendizaje de anatomía, con altos porcentajes de aceptabilidad y percepción de usabilidad. Permite a los estudiantes manipular y observar órganos corporales sin la exposición a factores de riesgo biológico (26). Igualmente, se ha empleado para orientar a estudiantes a distancia, mejorando su aprendizaje, desempeño y evaluación. La experiencia inmersiva permite que reciban las instrucciones e indicaciones requeridas para desempeñarse en su cargo de una manera que puedan interactuar con los espacios en los que

no pueden desempeñarse debido a su ubicación, facilitando la sensación de presencia (27).

Otra de las aplicaciones que se ha reportado de la RV en lo relacionado con la educación se ha dado en las distintas industrias para procesos de inducción y entrenamiento, lo que hoy en día se denomina como la industria 4.0 (28). Distintos autores han estudiado y plasmado los procesos de diseño, creación, implementación y evaluación de cursos, sistemas y protocolos educativos de RV para los trabajadores de distintas áreas de la industria como medicina, transporte, aviación, construcción y energía, asegurando que unas de las principales características de estas metodologías de enseñanza son su universalidad e integralidad. Además, destacan su potencial para incrementar las habilidades y conocimiento de los participantes, generando una disminución de costos y un incremento de la seguridad y eficiencia de los trabajadores (28). Se ha hablado de su uso para el entrenamiento de personal de la salud en cirugías complejas, cesáreas y observación de órganos según la especialización médica (29); para el entrenamiento de conductores, en decisiones relacionadas con la seguridad en distintos trayectos; y se ha encontrado evidencia de su implementación en el sector agrícola, con espacios creados para entrenar en tareas como la obtención de leche y cuidado de animales, obteniendo resultados satisfactorios (29).

Como se ha descrito anteriormente, la realidad virtual cuenta con numerosos usos en distintas áreas, como los deportes, la psicología, la rehabilitación, la educación secundaria y superior, y el entrenamiento laboral en distintos sectores de la economía. Estas aplicaciones han mostrado resultados prometedores y favorables para la enseñanza, la adquisición de habilidades, la concientización en seguridad y el ahorro de costos.

3. Procesos de aprendizaje para implementar realidad virtual

Los procesos de aprendizaje abarcan una serie de actividades e interacciones entre educadores y estudiantes, destinadas a lograr objetivos educativos específicos. Estos procesos involucran componentes clave como la planificación, implementación y evaluación de actividades de aprendizaje (30). En los adultos, el aprendizaje está influenciado por factores psicológicos y neurobiológicos. Los factores psicológicos como la confianza en el aprendizaje, la sensibilidad a la ansiedad y el temperamento psicológico desempeñan un papel crucial en la configuración de los procesos de aprendizaje de los adultos (31). Además, aspectos cognitivos como la memoria, las funciones ejecutivas, la práctica deliberada, la metacognición y la organización del conocimiento son cruciales en el aprendizaje adulto (32,33).

La motivación es un aspecto clave en el aprendizaje de adultos. Según Knowles, los adultos tienden a estar intrínsecamente motivados cuando perciben que el aprendizaje está vinculado a sus necesidades personales, intereses y metas (34). Esta idea es respaldada por la teoría de la autodeterminación de Deci y Ryan, que sostiene que los individuos tienen una tendencia innata hacia la auto-motivación cuando pueden elegir y controlar su propio aprendizaje (35).

La relevancia y la aplicabilidad del contenido son aspectos fundamentales para el proceso de aprendizaje en adultos. Conforme afirma Merriam y Caffarella, los adultos suelen valorar el aprendizaje que tiene una conexión directa con su vida personal o profesional. Cuando el contenido es percibido como relevante y aplicable, los adultos tienden a estar más comprometidos y motivados para aprender (36).

El conductismo, propuesto por Skinner y Pavlov, se centra en el condicionamiento y el aprendizaje a través de la asociación de estímulos y respuestas. En el contexto del aprendizaje de adultos, el conductismo puede manifestarse en entornos de capacitación laboral donde se utilizan re-

compensas y refuerzos para incentivar determinados comportamientos. Por ejemplo, en un programa de formación en el lugar de trabajo, los adultos pueden recibir retroalimentación positiva o incentivos por alcanzar objetivos específicos, lo que refuerza la adquisición de nuevas habilidades (37,38).

Por otro lado, el cognitivismo, representado por Piaget y Ausubel, se enfoca en los procesos mentales internos involucrados en el aprendizaje, como la atención, la memoria y la resolución de problemas. En el aprendizaje de adultos, esta teoría destaca la importancia de la reflexión y la comprensión activa. Por ejemplo, al presentar a los adultos casos prácticos o problemas complejos, se les desafía a utilizar sus habilidades cognitivas para analizar la situación y encontrar soluciones efectivas (39,40).

El constructivismo, promovido por Vygotsky y Bruner, postula que el conocimiento se construye activamente a través de la interacción con el entorno y la experiencia personal. En el aprendizaje de adultos, el constructivismo puede ser aplicado al proporcionar oportunidades para la exploración y la colaboración. Por ejemplo, en un taller de desarrollo profesional, los adultos pueden participar en actividades de aprendizaje colaborativo donde comparten sus conocimientos y perspectivas para construir un entendimiento más completo del tema (41, 42).

El conectivismo, introducido por Siemens y Downes, reconoce la importancia de las redes y la tecnología en el aprendizaje contemporáneo, enfatizando la capacidad de los adultos para acceder a información y recursos a través de conexiones en línea. En un mundo digitalizado, los adultos pueden aprender de forma autodirigida, aprovechando recursos en línea, comunidades de aprendizaje y redes sociales para expandir su conocimiento y habilidades (43,44). Esta teoría reconoce la importancia de la conectividad, la interacción, la autonomía, la diversidad y la apertura en el proceso de aprendizaje, que son elementos cruciales para

el éxito de los sistemas de aprendizaje electrónico (45). El conectivismo reconoce que el aprendizaje no se limita a los individuos, sino que ocurre dentro de redes digitales donde los datos están constantemente conectados y desconectados, fomentando la comunicación entre los estudiantes (46).

El efecto motivacional de las tecnologías de la comunicación en entornos de aprendizaje conectivistas se ha destacado en la investigación, lo que muestra cómo la integración de la tecnología puede impactar positivamente la motivación en la educación científica (47). El conectivismo, una teoría del aprendizaje que enfatiza la importancia de las conexiones y redes en el aprendizaje, se cruza con la realidad virtual (RV) en diversos contextos educativos.

La realidad virtual, presenta un potencial significativo en la enseñanza y el aprendizaje. Giorgio et al., en su estudio sobre la aplicabilidad de la realidad virtual como método de aprendizaje, definieron (48):

> El aprendizaje combinado (BL), o aprendizaje híbrido, que combina lo mejor de la educación en línea y la interacción tradicional cara a cara, ha surgido desde antes de la pandemia como una herramienta para abordar estos desafíos y puede fomentar en gran medida la Implementación de tecnologías RV para procesos de aprendizaje que requieren inmersión compartida. Si bien los usuarios pueden adaptarse para aprovechar al máximo el canal de comunicación, sólo las tecnologías RA y RV son particularmente adecuadas para este modo de colaboración entre humanos que se centran en compartir no sólo conocimiento declarativo, sino, más importante aún, conocimiento procedimental. La principal diferencia entre los dos es que mientras el conocimiento declarativo puede

> describir un entorno estático, por ejemplo, un sistema estacionario, el conocimiento procedimental se compone tanto de acciones como de conocimiento declarativo con respecto al tiempo permitiendo así la descripción de procesos dinámicos.

La implementación de la realidad virtual (VR) en la formación laboral abarca varios procesos de aprendizaje. Un enfoque relevante es el uso de simulaciones completas y *Hardware-in-the-Loop* (HIL) para crear herramientas de enseñanza en robótica industrial, combinando modelos matemáticos para los movimientos de los robots y algoritmos de control (49). Otro método consiste en utilizar la realidad virtual combinada con la narración digital para mejorar la capacitación en habilidades de comunicación, lo que permite a los usuarios enfrentar desafíos virtuales en las etapas de preparación, entrega y transición, reflejando escenarios del mundo real (50).

Además, el uso de la realidad virtual en la formación industrial se centra en estructurar cursos inmersivos, definir acciones y registrar las interacciones de los participantes para minimizar los errores y mejorar la seguridad, particularmente en las tareas operativas en entornos industriales, promover el aprendizaje experimental y reducir los costos y los riesgos (51).

De igual forma, el modelo 4C/ID se emplea para diseñar aplicaciones de formación en realidad virtual para competencias vocacionales, haciendo hincapié en las tareas de aprendizaje, la información de apoyo, la orientación procedimental y la práctica de tareas parciales para fomentar la adquisición integrada de competencias en campos como la pintura de vehículos (52).

4. Estrategias para entrenamiento con realidad virtual (RV)

La implementación de la realidad virtual (RV) en el entrenamiento de trabajadores representa una innovación significativa en la formación profesional. Este capítulo aborda las estrategias de aprendizaje más efectivas empleadas en el entrenamiento con RV, incluyendo los tipos de realidad virtual aplicados (inmersiva, aumentada y mixta), las metodologías empleadas y las formas de medir los resultados.

4.1 Realidad virtual inmersiva

La realidad virtual inmersiva sumerge al usuario en un entorno completamente virtual mediante dispositivos como gafas VR y controladores de movimiento, permitiendo la simulación de escenarios peligrosos sin riesgo real (53). La aplicación de tecnología de realidad virtual en industrias con altas tasas de accidentes, como la minería y la construcción, contribuye a la sostenibilidad al mejorar las prácticas de seguridad y salud en el trabajo (SST). Los modelos 3D, una vez simulados, se proyectan sobre una plataforma de realidad virtual. Mediante la manipulación de estos modelos dentro de la plataforma, los trabajadores pueden adquirir experiencia minera de primera mano. Además, el control remoto podría facilitar el mapeo de los modelos virtuales en el diseño real de la minera. La realidad virtual se utiliza cada vez más para aumentar el conocimiento y la conciencia sobre la seguridad minera entre los trabajadores mineros. La aplicación de la tecnología de realidad virtual en la seguridad minera ofrece a los gerentes la oportunidad de realizar una capacitación en seguridad rentable y permite el desarrollo de escenarios de capacitación que pueden resultar poco prácticos o peligrosos de replicar en entornos del mundo real (54).

En el desarrollo del juego Virtual *Minning* se utilizó el sistema de pantalla montada en la cabeza (HMD) y contro-

ladores de varios diseños. Los HMD proporcionan imágenes en el entorno virtual para que los usuarios mejoren el sentido de la realidad mediante monitores de alta resolución colocados para cada ojo. Previamente se había diseñado en 3D toda la mina de carbón subterránea, incluidas las áreas de desarrollo y producción. Teniendo en cuenta accidentes anteriores en minas subterráneas de carbón, algunos de los problemas más comunes se implementaron en el escenario del juego a través de pantallas de información y preguntas. Las preguntas disponibles en el juego se basan en el riesgo actual que encontró el usuario en una región específica y qué medidas se deben tomar para eliminar este riesgo. En caso de que la pregunta se responda incorrectamente, el usuario tiene múltiples oportunidades para responder la pregunta correctamente, y la precaución necesaria se muestra mediante una animación al usuario en la mina de carbón subterránea virtual (55)

Otra investigación en el área minera utilizó programas de capacitación desarrollados originalmente para un teatro inmersivo de 360 grados (360-VR), que consistía en una pantalla cilíndrica de 10 m de diámetro y 4 m de alto que mostraba un entorno virtual estéreo 3D de 360 grados, resolviendo un caso particular, un accidente que involucra a un vehículo subterráneo provoca un incendio en el fondo del túnel de transporte, la tarea asignada a la brigada de rescate minero es realizar la búsqueda y rescate del minero desaparecido (56).

En el área de construcción, la mayor evidencia encontrada se enfoca en capacitaciones en seguridad basadas en RV, estableciendo escenarios de peligros mediante un recorrido virtual por el sitio de construcción. Los trabajadores deben buscar peligros, identificarlos, analizarlos, evaluarlos, reaccionar ante ellos y tomar decisiones para evitar riesgos. Además, se registro el desempeño individual (57). En algunas investigaciones se utilizaron HMD (Pantallas montadas a la cabeza) y sensores biométricos para

rastrear respuestas como el seguimiento ocular y EEG para prevenir accidentes por caída, en estas situaciones dependía de si los participantes tomarían o no las medidas adecuadas utilizando el controlador de realidad (58).

Adicionalmente, se utiliza este tipo de entrenamiento en seguridad para compararla con la tradicional capacitación en seguridad basada en conferencias. Para esto Rey et al., diseñaron el videojuego Vistra, donde los alumnos debían realizar diferentes tareas mientras hacían trabajos en alturas en una obra de construcción, este escenario permite al trabajador afrontar eventos inesperados para tomar decisiones sobre acciones seguras o inseguras (59). En el estudio de Nikanee et al., la realidad virtual fue aplicada de forma más amplia para ayudar a los trabajadores a reconocer los beneficios del uso de equipos de protección personal. Además, se enfocó en la identificación y prevención de peligros comunes en el entorno laboral, como la caída de objetos, resbalones y tropezones. También se generó conciencia sobre los riesgos relacionados con el tráfico en sitios de construcción, la inspección de equipos y maquinaria en busca de posibles defectos o peligros, y los procedimientos de seguridad al usar una sierra de mesa o procedimientos de seguridad para trabajar en altura (60).

Sin embargo, no en todos los casos se diseña el protocolo de RV desde cero, para la formación en seguridad contra incendios se utilizó el módulo *Fire in the* OR® desarrollado por *Health Scholars*, con el uso de los auriculares *Oculus Quest* 2, que es una experiencia de 15 minutos en la que el alumno aprende pasivamente sobre seguridad contra incendios y luego desempeña activamente el papel de técnico de limpieza durante un incendio simulado en un quirófano. Se inicia con una experiencia educativa sobre seguridad contra incendios y la tríada del fuego. Luego, se coloca al alumno en un entorno de quirófano donde se instala la mesa del equipo para la cirugía y luego se produce un incendio en el quirófano.

Utilizando el conocimiento adquirido en la capacitación, se espera que extingan el fuego, quiten las cortinas al paciente y garanticen que la escena sea segura (61).

En algunos casos, se utilizan simuladores a escala en la formación básica de RCP, como en el caso de entrenamiento donde se emplea un maniquí de RCP inteligente. Diseñado para imitar la anatomía humana, está equipado con un monitor que muestra el progreso del proceso de reanimación (62).

En el área de la medicina, se ha diseñado el software de simulación *cardinalsim* que genera una representación virtual del hueso temporal a partir de imágenes diagnósticas específicas del paciente. Este sistema permite a los usuarios pueden realizar disección quirúrgica repetidas, utilizando gafas NVIDIA® 3d vision™ 2 y dispositivos hápticos geomagic® touch™ para simular el taladro, combinado con el spacemouse® compact para ofrecer una vista microscópica en 3d. En el ensayo, los participantes realizaron una mastoidectomía cortical, incluida una timpanotomía posterior, durante una sesión de perforación de 20 minutos (63).

También, se han creado modelos 3D del hígado, otros órganos abdominales, vasos y tumores de un paciente con múltiples masas hepáticas, mediante un sistema de realidad virtual interactivo e inmersivo (IMHOTEP), que permite visualizar datos de planificación quirúrgica con información clínica utilizando la pantalla montada en la cabeza (HMD) Oculus Rift. Los modelos 3D, los datos clínicos de los pacientes y otros datos de imágenes se visualizan en un entorno de realidad virtual. Esto permite que los usuarios interactúen con los datos mediante movimientos de la cabeza y un mouse de computadora. Oculus tiene dos pantallas LCD para crear una perspectiva 3D estereoscópica. Se rastrea la posición y el movimiento de la cabeza del usuario para que los movimientos de la cabeza se puedan traducir en movimiento en el entorno de realidad virtual, haciendo que la experiencia sea realista (64).

Se ha desarrollado un módulo de enseñanza de realidad virtual para ayudar a los profesionales médicos a comprender mejor la planificación anticipada de la atención (ACP) y las decisiones/directivas anticipadas (AD). En la experiencia de realidad virtual, los participantes se pusieron unos auriculares de realidad virtual, vieron una serie de vídeos de 360° y se sumergieron en situaciones de la vida real. Los participantes observaban las interacciones entre el médico, la enfermera, el paciente y sus familiares desde una perspectiva de tercera persona y tomaban decisiones clínicas desde el punto de vista de los proveedores de atención médica. Este módulo cubrió muchas cuestiones importantes en ACP y AD, como condiciones clínicas específicas definidas en la Ley de Derecho del Paciente a la Autonomía, agentes de atención médica, retirada de tratamientos de soporte vital y cuidados paliativos. En cada capítulo, los participantes respondían un ítem en el dominio de conocimiento específico del capítulo, pasaban al siguiente capítulo y vieron a los personajes demostrar buenas prácticas si respondían correctamente. Si respondían mal al ítem de conocimiento o tomaban una mala decisión clínica, los participantes recibían retroalimentación inmediata (ya sea en forma de video o texto) y se les permitía responder el ítem nuevamente (65).

En otro estudio se enseñó la formación en higiene de manos de los trabajadores sanitarios. Cada participante recibió una breve introducción al uso de los auriculares VR (*Oculus Go*) por parte del equipo del estudio e inició la aplicación "VR Clean Hands". En el escenario, se presentó a los participantes una breve descripción de la técnica correcta de higiene de manos y las cinco indicaciones para la higiene de manos según la OMS. Luego de elegir la profesión (médico o enfermero), se ingresaba a las tres salas virtuales de pacientes. En diversas situaciones clínico-prácticas, el participante debía identificar la indicación y secuencia correcta de higiene de manos y uso de guantes protectores (66).

Finalmente, la aplicación de la RV se ha usado como método de formación en la prevención de desórdenes musculoesqueléticos. Los factores de riesgo ergonómicos más comunes en los entornos industriales europeos son los movimientos repetitivos, las posturas inadecuadas, el manejo de cargas pesadas, el ruido y las vibraciones. Una empresa proveedora de componentes para automóviles a través de su Departamento de Seguridad y Salud Ocupacional (OHSD) asignó un nivel de riesgo (0—Sin riesgo, 1—Bajo riesgo, 2—Riesgo medio y 3—Riesgo alto) a las tareas desarrolladas en cada estación de trabajo para cada factor de riesgo ergonómico nombrado anteriormente. Se eligieron dos medios diferentes para desarrollar e impartir la formación. El primero fue una presentación de vídeo simple que se muestra en una pantalla de proyección, y el segundo fue un entorno interactivo 3D que se ejecuta en un visor de realidad virtual (Samsung Gear VR). Se utilizó un personaje animado para mostrar los contenidos de capacitación para cada factor de riesgo (movimientos repetitivos, posturas inadecuadas y manejo de cargas pesadas), desarrollando diferentes tareas en diferentes ambientes laborales. Para cada factor de riesgo, el personaje mostraba formas de detectar e identificar el riesgo, sus efectos y consecuencias en la salud y vida personal de los trabajadores y buenas prácticas para evitar el riesgo (67).

4.2 Realidad aumentada

En el contexto de la realidad aumentada (RA), esta tecnología superpone información digital en el mundo real mediante dispositivos como smartphones o gafas RA, lo que permite a los trabajadores acceder a datos adicionales mientras realizan tareas reales (68). Husár y Knapčíková et al. Destacan el potencial de la RA en áreas industriales

como el mantenimiento, montaje, soporte remoto, y gestión de instalaciones (69). Dodoo et al. Añaden que en las industrias de construcción y manufactura, la RA, a través del modelado de información de construcción (BIM), mejora la seguridad al identificar peligros antes de la implementación del proyecto (70).

Un estudio realizado por Raj et al. implementó la RA para guiar a los trabajadores de la fábrica en la realización de tareas complejas de ensamblaje directamente en el campo, como una alternativa a las instrucciones proporcionadas en papel o en una pantalla 2D. El método propuesto se aplicó mediante el uso de uso una pantalla montada en la cabeza (HMD) llamada Microsoft HoloLens 2. Previamente, se desarrolló una aplicación para proporcionar instrucciones al usuario, que, al abrirse, los componentes virtuales se colocan aleatoriamente en el mundo real mediante el HoloLens para representar hologramas con un desplazamiento fijo de los componentes reales. Una vez que todos los objetos virtuales se representaban en los objetos reales, el usuario podía hacer clic en el botón "Siguiente" y "Anterior" para seguir las instrucciones de ensamblaje (71).

Otro ejemplo donde se reemplazan los manuales tradicionales impresos en papel es en el uso de RA generalizada para apoyar a los operadores logísticos en escenarios industriales, específicamente en la preparación del kit, donde los operadores deben identificar los componentes necesarios y su ubicación correspondiente para que puedan ser recogidos correctamente. Para este estudio, se consideraron dos alternativas de hardware distintas: HMD, usando una pantalla montada en cascos, y HHD, usando un dispositivo portátil (72).

4.3 Realidad mixta

La realidad mixta (RM) combina elementos de RV y RA, permitiendo la interacción con objetos tanto virtuales como reales. Es ideal para entrenamientos que requieren manipulación precisa de herramientas o equipos (73).

En la revisión sistemática hecha por Gao et al. se evaluaron un total de 78 artículos, donde se encontró que el hardware más adoptado es un HMD inmersivo (26 casos), seguido de cualquier tipo de gafas (14 casos), incluidas gafas RA y gafas con obturador (a menudo en conjunto con proyectores 3D o pantallas 3D) y gafas mono-ojo. El objetivo más común del uso de RM incluye tanto crear un mejor entorno de formación para los trabajadores como desarrollar una mejor experiencia de aprendizaje para los estudiantes en el contexto de conferencias o laboratorios. Por ejemplo, los tiempos de proceso para las tareas de producción se pueden acortar con capacitación virtual, y reducir las tasas de error; por otro lado, las aplicaciones educativas simulan la cooperación entre manipuladores robóticos industriales y humanos, para mejorar el proceso de aprendizaje (74).

Un estudio novedoso propuesto por Simões aplicó la RM en el entorno de trabajo real donde suelen trabajar las personas con discapacidad, llevando a cabo el proceso de montaje de un total de 8 cables. Para el desarrollo, instalaron en la mesa un proyector Optoma con una lente gran angular apuntando hacia abajo. La lente gran angular transformó toda la superficie en una pantalla para información aumentada. Una cámara web y un Surface Pro rastrearon la orientación del gabinete eléctrico y actualizaron el modelo tridimensional HoloLens con la orientación correcta. Se instaló un lector óptico como parte de la configuración para detectar cables tomados por el usuario y actualizar el estado de la tarea (75).

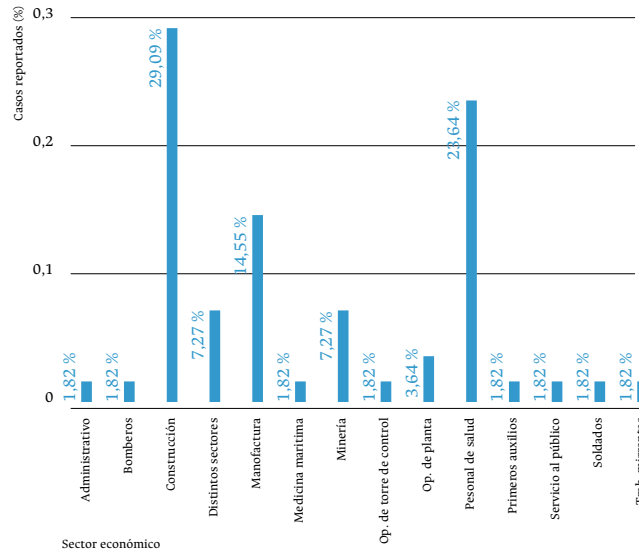
5. Evidencia de entrenamiento con RV

La evidencia documentada en numerosos estudios de casos ha demostrado que la implementación de la RV en el ámbito laboral no solo mejora las habilidades técnicas y la capacidad de respuesta de los trabajadores, sino que también reduce significativamente los riesgos asociados con el entrenamiento en entornos peligrosos. Estos casos publicados resaltan cómo la RV está revolucionando la forma en que las empresas abordan la formación de su personal, ofreciendo experiencias inmersivas y realistas que preparan a los trabajadores para enfrentar desafíos reales con mayor confianza y competencia. A continuación, se menciona casos de éxito hallados en la búsqueda realizada, reconociendo que hay también casos no concluyentes.

De acuerdo con total de casos revisados, se evidenció que el sector económico donde se han reportado la mayor proporción de casos con la aplicación de RV para el entrenamiento de trabajadores fue la construcción, con un 29,9 %, seguido por el sector de la salud con un 23,64 %, el sector de manufactura 14,55 %, minería y distintos sectores 7,27 %, y operadores de planta nuclear con 2 casos o 3,64 % del total de estos (Figura 3).

Figura 3

Casos de entrenamiento con RV en la evidencia científica por sector económico

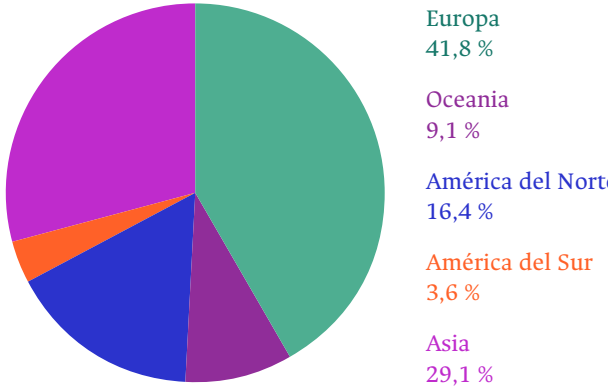


5.1 Casos de éxito

Con respecto a los lugares donde se han documentado los casos de éxito, Europa es la que referencia mayor cantidad de investigaciones, principalmente en Alemania, Polonia e Inglaterra, seguida por el continente asiático, y luego América del Norte. En América del sur han sido pocos los estudios; uno de ellos se reportó en Colombia con la implementación de una estrategia para reducir las alteraciones de atención durante el entrenamiento en ambientes de realidad extendida (84) (Figura 4).

Figura 4

Casos de éxito reportados por continente



Compton et al. (63) muestran en su investigación un caso de éxito en entrenamiento de especialidades médicas, en el que evaluaron la validez facial y la validez de contenido de un simulador de entrenamiento para cirugías del hueso temporal, tomando los resultados de la percepción de los participantes a partir de cuestionarios tipo Likert, en los que se calificaban distintos dominios de las dos categorías evaluadas. Como resultado, se obtuvo un puntaje significativamente positivo en 5 de 7 dominios de la validez facial y 5 de 6 dominios de la validez de contenido, lo que indicaba una actitud positiva de manera general hacia el simulador implementado, concluyendo que este podía ser usado para mejorar al entrenamiento de los otorrinolaringólogos (63). Otra intervención exitosa con RV versus intervención tradicional fue la propuesta por Diego-Mas et al. (65), aplicando el método Kirkpatrick, que consta de cuatro estadios (reacción, aprendizaje, comportamiento y resultados) para identificar la efectividad de un entrena-

miento en ergonomía en los trabajadores de la industria de ensamble automotriz. En este documento, basándose en el método mencionado, se implementaron dos cuestionarios, relacionados con los riesgos percibidos y los conocimiento y comportamientos adquiridos, los cuales se aplicaron inmediatamente después de la intervención y tres meses después. En los resultados iniciales, se obtuvo un mayor interés, disposición, adherencia y utilidad para el grupo en el que se implementó la RV, y en los posteriores, una mayor memorización del entrenamiento e interés en los temas de ergonomía y sus consecuencias (65).

La evaluación de la implementación de RV versus talleres tradicionales para el entrenamiento en rehabilitación cardiopulmonar (RCP) en dos grupos de bomberos se realizó mediante un cuestionario de conocimientos básicos con 15 preguntas de selección múltiple y una lista de verificación de observación para RCP, calificando cada una con un puntaje de 1 a 15, inmediatamente después de la intervención y tres semanas después. Se obtuvo como resultado que la puntuación media de conocimientos y de habilidades de los participantes aumentó posterior a la intervención, así como la puntuación media de sus habilidades en ambos grupos, con un incremento mayor en el grupo de entrenamiento con realidad virtual, demostrando una mayor efectividad en comparación con la intervención tradicional (62).

Shankhwar et al. (76) compararon la eficacia de un sistema de realidad extendida visuo-háptica versus un video educativo para el entrenamiento de dos grupos de soldadores novatos en una tarea manual de soldadura por arco metálico. El parámetro mencionado se evaluó de acuerdo al rendimiento en la soldadura, calificado por un soldador experto de 0 a 100 según la rectitud de la soldadura, la uniformidad del material de relleno, la uniformidad del ancho del cordón y las salpicaduras alrededor de la soldadura; la carga de trabajo subjetiva, teniendo en cuenta los criterios

de la NASA-TLX; la usabilidad, con la aplicación de una escala de usabilidad al grupo de entrenamiento con realidad extendida, que se calificó con una escala Likert de 5 puntos, donde 1 es "totalmente en desacuerdo" y 5 es "totalmente de acuerdo"; la sensación de presencia con un cuestionario, cuya calificación se basaba en una escala Likert de 7 puntos; y un cuestionario subjetivo para evaluar la experiencia de los usuarios del sistema de realidad extendida, calificado con una escala Likert de 5 puntos. Los resultados finales mostraron una puntuación general normalizada del grupo de realidad extendida significativamente mayor que la del grupo control, con menos sugerencias y errores (76).

Finalmente, el artículo publicado por Chang et al. (77), evaluó la efectividad de un entrenamiento en desastres químicos mediante RV no inmersiva (cámara 360º) en comparación con un instructivo presencial, en una muestra de 67 enfermeras. El estudio se realizó mediante un inventario de autoevaluación que fue recolectado inmediatamente después de la intervención, así como una semana y tres semanas posteriores. Este inventario tenía en cuenta siete aspectos, a saber: sistema de comando de incidente, triage del paciente, problemas psicológicos y poblaciones especiales, aislamiento, descontaminación y cuarentena, epidemiología y toma de decisiones clínicas, acceso a recursos críticos y reporte, y agentes químicos. También se utilizó una escala de autoeficacia con diez preguntas y calificación con escala tipo Likert. Se evidenció en los resultados de las dos encuestas que no hubo diferencias significativas entre los grupos, reflejando que, si bien el entrenamiento con RV no fue más efectivo que el entrenamiento convencional, sí puede ser aplicado de manera efectiva para el entrenamiento de enfermeras en el control de desastres químicos, funcionado como una herramienta que reemplace sin problema el entrenamiento convencional, evitando la exposición durante los entrenamientos tradicionales (77).

Por otro lado, se halló un grupo de artículos en los que se proponían protocolos de entrenamiento con las tecnologías estudiadas y se evaluaba su efectividad para futuras intervenciones, obteniendo resultados positivos, como es el caso del documento publicado por Fan y Wen (78), en el que se propuso y describió el desarrollo de un simulador de entrenamiento que permitía capturar las posturas y movimientos de los soldados de infantería, mediante la utilización de *body area networks* (BANS), conectadas a un programa de realidad virtual inmersivo (*Head Mounted Display* y aditamentos hápticos), mientras ejecutaban una misión en grupos de hasta seis soldados al mismo tiempo. Los parámetros considerados para medir la efectividad del sistema cuando se aplicó fueron el tiempo tomado para resolver la misión y el control de los aditamentos hápticos (rifles); los resultados obtenidos demostraron que la simulación propuesta favorecía el entrenamiento de soldados en distintos escenarios, facilitando además el trabajo en equipo sin el riesgo de enfrentarse a un escenario real (78). Otro caso con el uso de la misma estrategia es el descrito por Serpa et al. (79), en el que se propuso un juego basado en simulación para el estampado de placas de acero en la industria pesada, describiendo los componentes principales para el ambiente de aprendizaje y distintos recursos. Para la evaluación de la efectividad del entrenamiento, se ejecutó una simulación con 13 operadores, recopilando información subjetiva a través de un cuestionario sobre realismo, conciencia y transferencia de aprendizaje. De forma cuantitativa, se obtuvo que 5 usuarios completaron las tareas correctamente, 5 cometieron un error, 3 tuvieron dos errores y uno cometió tres o más errores. Cualitativamente, se concluyó que la mayoría de los usuarios estaban satisfechos con la experiencia, destacando la similitud de las máquinas con las reales, lo que facilitó el entrenamiento al reducir la exposición a riesgos (79).

Asimismo, en el estudio realizado por Rey-Becerra et al. (59), se propuso un videojuego con contenido educativo denominado ViStra para el entrenamiento de trabajadores que desempeñaran sus labores en alturas, afrontándolos a distintas tareas en las que se presentaban condiciones inseguras y peligros. Para la evaluación de la efectividad de la propuesta, se llevó a cabo un estudio experimental, en el que se dividió un total de 102 trabajadores de la industria de construcción colombiana en dos grupos: uno al que se le intervino con una capacitación tradicional, mediante presentaciones y contenido multimedia, y otro que realizó el entrenamiento con el sistema propuesto. Los factores que se tomaron en cuenta se midieron usando el método Kirkpatrick's, incluyendo el disfrute subjetivo, usabilidad percibida y dificultad percibida a corto y largo plazo. En los hallazgos se observó que ambos tipos de entrenamiento fueron efectivos para mejorar los resultados de las pruebas de conocimientos y las actitudes autoinformadas a corto plazo, así como la percepción de riesgo, el comportamiento autoinformado y el clima de seguridad a largo plazo. Se pudo observar, además, que los participantes de la formación basada en realidad virtual en particular obtuvieron resultados significativamente mejores en conocimiento y reportaron actitudes más altas (compromiso y motivación) que los participantes del entrenamiento tradicional (59).

Se halla también la propuesta publicada por Gürer, Surer y Erkayaoğlu (55), que consta de un juego serio y realista denominado 'Mining-Virtual', cuyo objetivo es permitir a los usuarios experimentar una mina de carbón subterránea en un entorno virtual, en el que deben detectar peligros y adquirir conocimiento de información crítica sobre seguridad y salud ocupacional. Para la evaluación de la efectividad de la propuesta, se probó el sistema con 30 trabajadores, entre ingenieros de minas y desarrolladores de juegos, quienes calificaron su usabilidad a partir de una

escala Likert de cinco opciones, cuyas respuestas reflejaron que el juego era excelente, con un nivel de aceptación tecnológica considerablemente alto, concluyendo que el sistema propuesto podría servir como una herramienta eficiente en la capacitación en seguridad y salud ocupacional para la industria minera (55).

Finalmente, Luo et al. (80) realizaron una investigación para determinar el impacto de la fidelidad del escenario (nivel de desarrollo del modelo de RV) y la fidelidad de la interacción (interfaz de control–teclado vs. volante y pedales) en el entrenamiento en seguridad de manejo de montacargas basada en RV, centrándose en la presencia y la usabilidad para determinar el éxito o no. Para obtener los resultados, realizaron un experimento con 120 profesionales del área industrial y de la construcción, distribuidos en cuatro grupos con diferentes niveles de fidelidad en la interacción y en el escenario:

1. Alta fidelidad de interacción y alta fidelidad de escenario (30 personas).
2. Baja fidelidad de interacción y alta fidelidad de escenario (30 personas).
3. Alta fidelidad de interacción y baja fidelidad de escenario (30 personas).
4. Baja fidelidad de interacción y baja fidelidad de escenario (30 personas).

Se aplicó un cuestionario posterior a la intervención, denominado *Igroup Presence Questionnaire* (IPQ) para medir la presencia, y la usabilidad se evaluó mediante el tiempo de finalización de cuatro tareas. Los resultados indicaron que la fidelidad del escenario mejora significativamente la presencia y la usabilidad, mientras que la fidelidad de interacción no tuvo efecto, indicando que el realismo de los escenarios diseñados para entrenamiento influye más

en los factores evaluados que el realismo de la interfaz, demostrando un beneficio de costo-efectividad con el entrenamiento con RV (80).

Otro tipo de artículos en los que se reportó el éxito en la aplicación de estas tecnologías fueron las revisiones sistemáticas, meta-análisis o *scoping review*. Un ejemplo de esto es la revisión sistemática realizada por Heldring et al. (81) en 2023, en la que se buscó brindar una descripción del uso de RV INmersiva para el entrenamiento de primeros respondientes a partir de los artículos publicados en distintas bases de datos, como PubMed, CINAHL Complete, *Academic Search Ultimate, Web of Science* y ERIC, hallando 17 artículos finales en los que se tomaron factores relacionados a los aspectos de aprendizaje, efectos de aprendizaje y de retención del conocimiento, respuesta fisiológica, preparación mejorada, usabilidad, tutoriales, aspectos técnicos, realismo y satisfacción. Los resultados obtenidos y sintetizados por los autores posterior a la revisión de los documentos seleccionados demostraron que el entrenamiento con RV permite la repetición de las actividades entrenadas en una manera que no se puede lograr con la simulación real, y el realismo es similar, sin generar estrés; además, evidenciaron que la RV ofrece un ambiente costo-efectivo y seguro para el aprendizaje, presentando una tecnología fácil de usar (81).

Asimismo, Scorgie et al. (82), en una revisión sistemática de la literatura y meta-análisis, investigaron las aplicaciones de entrenamiento en seguridad haciendo uso de RV en diversas industrias (excluyendo aplicaciones médicas y militares), como la construcción, los bomberos, la aviación y la minería. Para los resultados, se realizó una división de la efectividad de acuerdo al tipo de entrenamiento con RV, dividiéndose en: RV basada en auriculares, RV basada en proyecciones y RV basada en pantalla. Teniendo esto en cuenta, los autores manifiestan que, en términos de adquisición de conocimientos y experiencia de los usua-

rios, los estudios indicaron que la RV basada en auriculares era igual o mejor que la RV basada en pantalla, mientras que la RV basada en proyecciones demostró ser mejor que la RV basada en pantalla. Además, evidenciaron que los dos meta-análisis propuestos en este trabajo demostraron que la formación en seguridad con realidad virtual supera a la formación tradicional en términos de adquisición y retención de conocimientos (82).

Por último, se halló un *scoping review* desarrollado por Satu et al. (84) en 2024, en el que se llevó a cabo una revisión de la literatura existente del entrenamiento con RV para operarios de plantas nucleares y qué soluciones se han usado para desarrollar sus habilidades y experticia. Evidenciaron que la RV para el entrenamiento de operarios de plantas nucleares se aplicaba en cuatro áreas principalmente: primero, capacitación en gestión de incidentes y accidentes; segundo, planificación y capacitación del proceso de trabajo; tercero, visualización y estimación de la radiación; y cuarto, entrenamiento general en seguridad física. Los estudios permitieron obtener distintas conclusiones, como que el entrenamiento con RV tiene ciertos beneficios en comparación con el entrenamiento convencional en el aula o en simulador. El grado de implicación activa del participante frente a una mera visión pasiva fue positivo, considerándose también que una mayor familiaridad con el entorno de entrenamiento de realidad virtual, incluidas las interacciones de navegación y control, mejoraba el resultado del aprendizaje, pero también contribuía a una experiencia de aprendizaje positiva para las personas entrenadas (84).

5.2 Casos no concluyentes

Como se mencionó inicialmente, en la búsqueda realizada se identificó un grupo de artículos que no cuenta con resul-

tados concluyentes, pues no se describe una evaluación de la efectividad del entrenamiento con RV, ya sea porque no se estudia esta efectividad directamente o bien porque no cuenta con información suficiente para definir un resultado.

Un ejemplo de esto es el documento publicado por Huang et al. en el 2021 (85) en el que se propone un sistema de RV para entrenamiento de seguridad en construcción, conectado a una interfaz para toma de electroencefalografía y datos fisiológicos como presión arterial y frecuencia cardíaca. En el documento, se realizan descripciones de los algoritmos y el diseño que se propone para el sistema, y se evalúa su estructura a partir de dos cuestionarios resueltos por seis ingenieros y seis neurólogos, quienes brindaron una retroalimentación de acuerdo a cada área para la mejora del protocolo (85). Se considera que este caso no es concluyente, pues no cuenta con un apartado que describa la efectividad del sistema propuesto.

Un caso similar es el presentado por Drakos et. al (86), en el que se presentó la propuesta de un entorno virtual para el entrenamiento de trabajadores de una planta nuclear. Como ocurrió en el caso anterior, el artículo describe la recolección de información, la programación, algoritmos y desarrollo del sistema para entrenamiento, que cuenta con un edificio industrial de once pisos, basado en tecnología VR y técnicas de imágenes digitales que combinan mapas 2D, modelos 3d y fotografías esféricas de 360° de alta definición. En el documento, los objetivos del entrenamiento en realidad virtual y el diseño del espacio se centran en mostrar los elementos materiales y la distribución del reactor, guiar recorridos seguros, explicar aspectos funcionales y permitir a los alumnos familiarizarse con un modelo operativo del edificio del reactor. También se busca compartir experiencias relevantes a través de anécdotas de la vida real (86). Sin embargo, se considera no concluyente, puesto que su efectividad y aplicación no se realizan ni se describen en el documento.

De igual manera, en el artículo publicado por Choi (58) se propone desarrollar un modelo para determinar y evaluar, desde parámetros biométricos, como el seguimiento ocular y el electroencefalograma, el aprendizaje que obtienen los trabajadores a partir de un entrenamiento con RV en seguridad de construcción. Para ello, los trabajadores se desempeñaron haciendo uso del sistema de entrenamiento, y finalmente diligenciaron un cuestionario de cuatro preguntas para evaluar su desempeño en el aprendizaje, cruzando estos datos con los obtenidos a partir de los parámetros biométricos. Los resultados se tomaron desde la perspectiva de las respuestas biométricas, evidenciándose que estas pueden tomarse como variables independientes para una predicción más precisa del rendimiento del aprendizaje personal (58); no se tomó en cuenta la efectividad del entrenamiento ni el aprendizaje obtenido por los trabajadores, pues se buscaba conocer la efectividad de la recolección de parámetros biométricos.

6. Consideraciones finales

Se exploraron las estrategias implementadas en el entrenamiento de trabajadores mediante el uso de la RV, investigando los sectores productivos en los que se ha aplicado y evaluando su efectividad.

Los estudios revisados, como los de Giorgio et al. (48), Van Wyk y De Villiers (53), Gürer, Erkayaoğlu y Surer (55), Han et al. (57), Choi et al. (58), Rey-Becerra, Barrero, Ellegast y Kluge (59), Kenngott et al. (64), Diego-Mas, Alcaide-Marzal y Poveda-Bautista (67), Chang et al. (75) y Scorgie et al. (80), emplearon una amplia gama de dispositivos y escenarios de RV para el entrenamiento a los trabajadores. Esto incluyó desde simulaciones interactivas hasta entornos completamente inmersivos que replican lo mejor posible las condiciones laborales del sector a entrenar, permitiendo adaptar los escenarios de aprendizaje a las necesidades específicas de cada industria y facilitando el proceso de aprendizaje, que suele ser difícil o costoso de replicar en la realidad.

Por otro lado, se han utilizado diferentes tipos de realidad virtual para el entrenamiento a los trabajadores, como la realidad virtual inmersiva o no inmersiva, mediante experiencias totalmente inmersivas con ayuda de casos de RV o con la aplicación de dispositivos móviles, y realidad virtual aumentada, la cual combina elementos virtuales con el entorno real. Los dispositivos más comunes incluyen cascos de realidad virtual inmersiva como *Oculus Rift* (59,63), dispositivos móviles para experiencias de RV no inmersiva (66,70), y *HoloLens* para aplicaciones de realidad aumentada (66,69).

Los hallazgos de esta revisión coinciden con estudios previos, como los realizados por Paszkievwicz et al. (28) y Durojaye et al. (29), que destacan la efectividad del uso de tecnologías inmersivas como la RV en el entrenamiento de trabajadores, favoreciendo los procesos de enseñanza a nivel de distintas industrias como la medicina, el

transporte, la aviación, la construcción, entre otras. Estos procesos propios de cada cargo de una manera segura y efectiva. Se halló una mayor proporción de aplicación de la RV en la industria de la construcción y en los servicios sanitarios, relacionada con procesos de entrenamiento para determinación de riesgos y peligros en las distintas actividades realizadas, y para la preparación de cirugías de alta complejidad o desastres químicos, respectivamente. Igualmente, se halló la efectividad de estos entrenamientos en comparación con otros métodos de enseñanza, demostrando la posibilidad de aplicarlos como un reemplazo o soporte para los entrenamientos tradicionales.

De igual manera, se halló un número importante de revisiones de la evidencia que reportaban la aplicación y efectividad del entrenamiento con RV en distintas industrias, incluyendo la minería, salud, transporte, fuerzas armadas, etc., mencionando que este tipo de entrenamiento facilita los procesos de aprendizaje en un ambiente inmersivo y seguro, lo que contribuye al traslado de conocimiento a las actividades de la vida real de manera asertiva.

En el consolidado de los métodos de entrenamiento con RV, se destacan la realidad virtual inmersiva, definida e implementada por Yurii y Hlib (51) y Mulde (52); la realidad aumentada, mencionada por Eichel et al. (66), Diego-Mas, Alcaide-Marzal y Poveda-Bautista (68); y la realidad mixta, discutida por Raj et al, (71) y Mario et al, (72). Estos enfoques han sido aplicados en la industria para la capacitación de trabajadores en distintos sectores productivos. Se incluyeron los protocolos desarrollados para este entrenamiento, la medición de la efectividad de cada uno de los procesos, lo casos que éxito que se han reportado en la literatura y una breve descripción de los continentes y países que cuentan con mayor cantidad de reportes.

Finalmente, se concluye que:

El uso de la RV permite a los trabajadores adquirir habilidades prácticas de manera más rápida y efectiva en un entorno seguro y controlado. La implementación de esta nueva tecnología se realiza mediante tres métodos diferentes: realidad virtual, realidad aumentada y realidad mixta, siendo la RV predominante sobre las demás, con mayor cantidad de investigaciones y casos de éxito. Estas estrategias son comparadas con métodos tradicionales, como instrucciones proporcionadas en papel, videos/presentaciones y charlas.

La aplicación de esta tecnología tiene como objetivo enseñar a los individuos a desarrollar sus actividades laborales de una manera segura y efectiva, mientras practican una amplia gama de habilidades y procedimientos en un entorno inmersivo y realista, lo que les brinda la oportunidad de cometer errores y aprender de ellos sin consecuencias negativas.

Los estudios revisados emplearon una gama amplia de dispositivos. Entre los más utilizados se incluyen visores de RV como el *Oculus Rift* y *HoloLens* como marcas principales, o se aplicaba el uso de dispositivos móviles, permitiendo diferenciar el modo de aplicación entre HDM o HHD. En cuanto a los escenarios de RV, estos podían ser replicados en espacios totalmente inmersivos, como teatros, creando hologramas sobre el puesto de trabajo o realizando el proceso de entrenamiento en un solo sitio. Dentro de la simulación, los individuos son guiados a través de distintas estrategias como imágenes, textos o instrucciones, de acuerdo a la finalidad y tipo del entrenamiento.

La evidencia reportó el uso de realidad virtual en una gran variedad de sectores económicos, entre los que predominan la construcción, los servicios de salud, el sector de manufactura, la minería, y distintos sectores para revisiones sistemáticas y operadores de planta nucleares.

Se halló información acerca de la aplicación de las tecnologías inmersivas en los sectores administrativo, bomberos, medicina marina, operadores de torre de electricidad, primeros respondientes, servicio al público, soldados y trabajadores migrantes, con al menos un reporte de entrenamiento para los trabajadores de estas áreas. Adicionalmente, se identificó que las actividades como la silvicultura, piscicultura, la agricultura y la ganadería, en el primer sector productivo, cuentan con información limitada acerca de la implementación de este tipo de tecnologías, así como el sector informal y el área administrativa.

La finalidad del uso de la RV varía de acuerdo al sector en el que se aplique. En entornos de formación industrial, la RV se utilizó para recrear situaciones de riesgo para la seguridad y la salud, donde los trabajadores pudieran aprender y practicar protocolos de seguridad y respuesta sin exponerse a peligros reales. En el área de la salud, se utilizó para el entrenamiento de cirugías de alta complejidad y control de emergencias; en el ámbito de la construcción, se entrenó sobre seguridad mediante la identificación y respuesta ante peligros y riesgos; y en el sector de la minería, fue aplicada para el entrenamiento de respuesta de los trabajadores ante procesos de rescates y emergencias. Finalmente, en distintas áreas, la investigación se centró en una revisión de las aplicaciones de la RV de una forma más general, midiendo su efectividad en comparación con otros métodos de enseñanza.

Se identificaron casos de éxito medidos a partir de distintos parámetros que permitían evaluar el entrenamiento realizado, con reporte de resultados positivos generales frente al entrenamiento con RV, demostrando la eficacia de esta tecnología como herramienta de entrenamiento para los trabajadores en diversos sectores. Además, se evidenció como un instrumento eficaz para reducir los

costos asociados con la formación industrial, al eliminar la necesidad de materiales físicos y equipos costosos.

En diversos artículos se realizó la comparación de la RV con otras formas de entrenamiento, obteniendo resultados favorables para los procesos realizados con las metodologías virtuales. La RV se instaura como una herramienta eficaz que puede aplicarse de manera independiente o en conjunto con otros métodos de entrenamiento, presentando mejores o resultados similares a otras formas de enseñanza, lo que refuerza la efectividad y facilidad en su aplicación. Igualmente, se hallaron revisiones sistemáticas en las que se investigaba la efectividad de la RV para el entrenamiento de trabajadores de distintos sectores, reportando casos de éxitos de acuerdo a las revisiones realizadas. Es importante resaltar que se deben tener en cuenta una serie de recomendaciones:

- La estandarización de conceptos como realidad virtual, realidad mixta, realidad aumentada y realidad extendida es fundamental para evitar confusiones y promover una comprensión universal. Esto puede lograrse a través de la elaboración de guías y manuales estandarizados, así como la inclusión de estas definiciones en programas de formación y certificación, permitiendo el uso de la RV de manera coherente.
- Implementar este tipo de estrategias en otras áreas de la industria, como la agricultura, la ganadería, la piscicultura y la silvicultura, ya que se evidencia que la mayoría de intervenciones han sido realizadas en el sector de la construcción, la salud y la manufactura. Esto puede lograrse a través de estudios pilotos

que evalúen la adaptabilidad de la RV en estos entornos y la aceptabilidad de los trabajadores ante este tipo de entrenamiento.

- Extender el entrenamiento con RV al sector informal para entrenar a los trabajadores en el desarrollo de sus labores mediante la asociación con organizaciones que brinden este tipo de servicios.
- Al implementar este tipo de entrenamiento, se sugiere contar con un espacio que tenga las características adecuadas para el proceso y personal preparado para realizar el proceso de inducción inicial sobre el uso correcto de la tecnología, y guía durante el entrenamiento a los participantes, favoreciendo un proceso efectivo.
- Identificar el modelo de aprendizaje de los participantes, teniendo en cuenta las pruebas que se han presentado en un proceso de selección, como las psicotécnicas, para evidenciar si la forma de aprendizaje de los trabajadores está asociada a las nuevas tecnologías, permitiendo discernir si el entrenamiento será efectivo.
- Para determinar el impacto de la efectividad y adherencia de la RV, es necesario realizar seguimientos post intervención mediante la evaluación de los procesos e indicaciones de efectividad, con una periodicidad de al menos seis meses, con el fin de ajustar los programas de entrenamiento y asegurar que los beneficios de la RV se conserven con el tiempo.
- Para investigar la influencia de la RV a largo plazo, se pueden implementar evaluaciones periódicas, observando posibles disminucio-

nes en la retención de conocimientos y habilidades. Adicionalmente, para maximizar la efectividad del entrenamiento, la RV se puede integrar con otros métodos de formación, como por ejemplo el diseño y aplicación de programas híbridos.

- Desde un punto de vista económico, se sugiere realizar investigaciones donde se analice el costo-beneficio a corto y largo plazo del uso de RV en comparación con métodos tradicionales de entrenamiento, considerado los costos iniciales de implementación y la disminución de costos relacionados con tasas de errores, accidentes y productividad.
- Evaluar los tiempos óptimos de una sesión de entrenamiento con RV para mejorar la atención y prevenir la fatiga de los trabajadores mediante la identificación del momento en el que los participantes empiezan a manifestar síntomas como el cibermareo.

7. Referencias

1. González A, Bonilla J, Quintero M, Reyes C, Chavarro A. Análisis de las causas y consecuencias de los accidentes laborales ocurridos en dos proyectos de construcción. Revista Ingeniería de Construcción. 2016;31(1):05-16. Disponible en: http://dx.doi.org/10.4067/S0718-50732016000100001
2. Mariscal MA, López-Perea EM, López-García JR, Herrera S, García-Herrero S. The influence of employee training and information on the probability of accident rates. International Journal of Industrial Ergonomics. 2019;72:311-9. Disponible en: https://doi.org/10.1016/j.ergon.2019.06.002
3. Instituto Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo (INSST). Informe anual de accidentes de trabajo 2022. 2023 [citado 2024 Mar 11]. Disponible en: https://www.insst.es/el-observatorio/recursos-practicos/pildoras-informativas/informe-anual-de-accidentes-de-trabajo-2022
4. Consejo Colombiano de Seguridad. Crecen los accidentes de trabajo en el primer semestre de 2023: se presentaron 274 381 casos, un promedio de 1524 eventos diarios. [Internet]. Disponible en: https://ccs.org.co/portfolio/crecen-los-accidentes-de-trabajo-en-el-primer-semestre-de-2023/
5. Consejo Colombiano de Seguridad. Se presentaron 1488 accidentes de trabajo en promedio cada día durante el 2022. [Internet]. 2023. Disponible en: https://ccs.org.co/portfolio/se-presentaron-1488-accidentes-de-trabajo-en-promedio-ca da-dia-durante-el-2022/
6. Ahn JY, Huang S. Types of employee training, organizational identification, and turnover intention: evidence from Korean employees. Problems and Perspectives in Management. 2020;18(4):517-

26. Disponible en: http://dx.doi.org/10.21511/ppm.18(4).2020.41
7. Ouellet S. Understanding work to transform training: A study for accident prevention in the telecommunications sector. Safety Science. 2022;146:105520. Disponible en: https://doi.org/10.1016/j.ssci.2021.105520
8. Raffles University. Human Resource Management - Part II [Internet]. 2022. Disponible en: http://gdcganderbal.edu.in/Files/a8029a93-30ad-4933-a19a-59136f648471/Custom/HRM%202.docx25.pdf92.pdf
9. Indira Gandhi National Open University. Unit-10 Training and Development. MPA-014 Human Resource Management [Internet]. 2017;1-17. Disponible en: https://egyankosh.ac.in/bitstream/123456789/25729/1/Unit-10.pdf
10. Kizil MS, Kerridge AP, Hancock MG. Use of virtual reality in mining education and training. The Australasian Institute of Min Metall. 2003. Disponible en: Use of virtual reality in mining education and training - UQ eSpace
11. LaValle S. Virtual Reality [Internet]. Finlandia: Cambridge University Press; 2019. Disponible en: https://msl.cs.uiuc.edu/vr/vrbook.pdf
12. Giraldi G, Silva R, de Oliveira J. Introduction to Virtual Reality [Internet]. Lncc - National Laboratory for Scientific Computing; [citado 2024 Mar 8]. Disponible en: https://www.lncc.br/~jauvane/papers/RelatorioTecnicoLNCC-0603.pdf
13. Castillo J. La realidad virtual y la realidad aumentada en el proceso de marketing. Revista de Dirección y Administración de Empresas. 2017;24:155-229. Disponible en: https://ojs.ehu.eus/index.php/rdae/article/view/19141

14. Gao Y, González VA, Yiu TW. The effectiveness of traditional tools and computer-aided technologies for health and safety training in the construction sector: A systematic review. Computers and Education. 2019;138:101-15. Disponible en: https://doi.org/10.1016/j.compedu.2019.05.003
15. Chu C-H, Pan J-K. A Systematic Review on Extended Reality Applications for Sustainable Manufacturing Across the Product Lifecycle. International Journal of Precision Engineering and Manufacturing-Green Technology. 2024;11(3):1017-28. Disponible en: https://doi.org/10.1007/s40684-023-00567-8
16. Paszkiewicz A, Salach M, Dymora P, Bolanowski M, Budzik G, Kubiak P. Methodology of Implementing Virtual Reality in Education for Industry 4.0. Sustainability. 2021;13(9):5049. Disponible en: https://doi.org/10.3390/su13095049
17. Ulmer J, Braun S, Cheng CT, Dowey S, Wollert J. Gamified Virtual Reality Training Environment for the Manufacturing Industry. In: 2020 19th International Conference on Mechatronics - Mechatronika (ME). 2020:1-6. Disponible en: https://doi.org/10.1109/ME49197.2020.9286661
18. Rojas E, Adalid L. Realidad virtual inmersiva para la rehabilitación de la enfermedad de Parkinson: una revisión narrativa. Archivos de Neurociencias. 2022;27(4):57-62. Disponible en: https://search-ebscohost-com.ezproxy.unbosque.edu.co/login.aspx?direct=true&db=lt h&AN=161053009&lang=es&site=eds-live&scope=site
19. Keller J, Štětkářová I, Macri V, Kühn S, Pětioký J, Gualeni S, et al. Virtual reality-based treatment for regaining upper extremity function induces cortex grey matter changes in persons with acquired brain injury. Journal of NeuroEngineering and Rehabilita-

tion. 2020;17(1):1-11. Disponible en: https://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=edsdoj&AN=edsdoj.03551a 08d9744ce8881c6285b8de8747&lang=es&site=eds-live&scope=site

20. Garnica-Escamilla MA, Tinajero-Santana M del C, Calderón-Esquivel N, de Jesús Sánchez-Zúñiga M, Laredo-Sánchez EC, Tamez-Coyotzin EA. La realidad virtual como estrategia de tratamiento del dolor durante la rehabilitación física en el paciente quemado. Medicina Interna de México. 2023;39(1):141-6. Disponible en: https://search-ebscohost-com.ezproxy.unbosque.edu.co/login.aspx?direct=true&db=lt h&AN=161703592&lang=es&site=eds-live&scope=site
21. Lian W. Application of Virtual Reality Technology and Its Impact on Digital Health in Healthcare Industry. Journal of Commercial Biotechnology. 2022;27(4):152-60. Disponible en: https://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=bsx&AN=163732713&lang=es&site=eds-live&scope=site
22. Riva G. Virtual Reality in Clinical Psychology. Comprehensive Clinical Psychology. 2022:91-105. Disponible en: https://doi.org/10.1016/B978-0-12-818697-8.00006-6
23. Kuleva M. Application of Virtual Reality to the Enhancement of Physical Activity and Sports for Healthy Individuals. A Systematic Review. Journal of Applied Sports Sciences.2023;1(2023):69-79. Disponible en: https://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=edsdoj&AN=edsdoj.7fdef24f4d64c90ae523ee769ccbdae&lang=es&site=eds-live&scope=site
24. Touloudi E, Hassandra M, Galanis E, Goudas M, Theodorakis Y. Applicability of an Immersive Virtual

Reality Exercise Training System for Office Workers during Working Hours. Sports. 2022;10(7):1-17. Disponible en: https://doi.org/10.3390/sports10070104

25. Marougkas A, Troussas C, Krouska A, Sgouropoulou C. How personalized and effective is immersive virtual reality in education? A systematic literature review for the last decade. Multimedia Tools and Applications: An International Journal. 2024;83(6):18185-233. Disponible en: https://search-ebscohost-com.ezproxy.unbosque.edu.co/login.aspx?direct=true&db=ed ssjs&AN=edssjs.151FEB01&lang=es&site=eds-live&scope=site
26. García-Robles P, Cortés-Pérez I, Nieto-Escámez FA, García-López H, Obrero-Gaitán E, Osuna-Pérez MC. Immersive virtual reality and augmented reality in anatomy education: A systematic review and meta-analysis. Anatomical Sciences Education. 2024;17(3):514-28. Diponible en: https://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=mdc&AN=38344900&lang=es&site=eds-live&scope=site
27. Valenti S, Lund B, Ting Wang. Virtual Reality as a Tool for Student Orientation in Distance Education Programs: A Study of New Library and Information Science Students. Information Technology & Libraries. 2020;39(2):1-12. Disponible en: https://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=lxh&AN=143882440&lang=es&site=eds-live&scope=site
28. Paszkiewicz A, Salach M, Dymora P, Bolanowski M, Budzik G, Kubiak P. Methodology of Implementing Virtual Reality in Education for Industry 4.0. Sustainability. 2021;13:5049. Disponible en: https://doi.org/10.3390/su13095049
29. Durojaye A, Kolahdooz A, Nawaz A, Moshayedi A. Immersive Horizons: Exploring the Transformative

Power of Virtual Reality Across Economic Sectors. EAI Endorsed Transactions on AI and Robotics. 2023;1-28. Disponible en: https://doi.org/10.4108/airo.v2i1.3392

30. Novitasari A. Keterlaksanaan Pembelajaran Efektif Melalui Peran Profesionalisme Pendidik Dalam Proses Pembelajaran. Journal of Education. 2022;5(1):1179-88. Disponible en: https://doi.org/10.31004/joe.v5i1.624
31. S. H. Annabel Chen, Alicia M. Goodwill. Neuroplasticity and Adult Learning. Springer International Handbooks of Education. 2022. Disponible en: Neuroplasticity and Adult Learning | SpringerLink
32. Glaus Leão MA, Pereira MMC, Almeida RS, Melo SF, Audi WF. Aprendizagem e metacognição do adulto: panorama de estudos e pesquisas. 2015.
33. Murtonen M, Lehtinen E. Estudiantes adultos y teorías del aprendizaje. 2020. https://doi.org/10.4324/9781315187464-7
34. Tough A. Andragogy in Action: Applying Modern Principles of Adult Learning Malcolm S. Knowles. The Journal of Higher Education. 1985;56(6):707-9. Disponible en: https://search-ebscohost-com.ezproxy.unbosque.edu.co/login.aspx?direct=-true&db=edsjsr&AN=edsjsr.10.2307.1981081&lang=es&site=eds-live&scope=site
35. Ryan RM, Deci EL. Self-Determination Theory and the Facilitation of Intrinsic Motivation, Social Development, and Well-Being. American Psychologist. 2000;55(1):68-78. Disponible en: https://search-ebscohost-com.ezproxy.unbosque.edu.co/login.aspx?direct=true&db=edsovi&AN=edsovi.00000487.200001000.00007&lang=es&site=eds-live&scope=site

36. Sharan B. Merriam, Lisa M. Baumgartner. Learning in Adulthood: A Comprehensive Guide. Hoboken, NJ: Jossey-Bass; 2020. (The Jossey-Bass Higher and Adult Education Series; vol. Fourth edition). Disponible en: https://search-ebscohost-com.ezproxy.unbosque.edu.co/login.aspx?direct=true&db=edsebk&AN=2349091&lang=es&site=eds-live&scope=site
37. El conductismo en la formación de los estudiantes universitarios. Educare. 2020 [citado 2024 Jun 14];24(1). Disponibles en: https://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=edsdoj&AN=edsdoj.3cf018 b117747caaea341cc1b61f5a8&lang=es&site=eds-live&scope=site
38. Pellón Suárez de Puga R. Watson, Skinner y algunas disputas dentro del Conductismo. Revista Colombiana de Psicología. 2013 [citado 2024 Jun 14];22(2):389-99. Disponible en: https://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=edsdoj&AN=edsdoj.851618 3b0e-864b0faf740ae3457e5883&lang=es&site=eds-live&scope=site
39. Leiva C. Conductismo, cognitivismo y aprendizaje. Tecnología en Marcha. 2005 [citado 2024 Jun 14];18(1). Disponible en: https://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=edsdoj&AN=edsdoj.9c6a4722544f41ac4ab8c6660279bd&lang=es&site=eds-live&scope=site
40. Martínez R, Arrieta X. Desarrollo cognitivo conceptual y características de aprendizaje de estudiantes universitarios. Revista Iberoamericana de Educación. 2012;18(3):35-48 [citado 2024 Jun 14]. Disponible en: https://www.redalyc.org/pdf/737/73725513006.pdf
41. González-Tejero JMS, Parra RMP. El Constructivismo hoy: enfoques constructivistas en educación. Revista Electronica de Investigación Educativa.

2011;13(1). 1-27 Disponible en: El Constructivismo hoy: enfoques constructivistas en educación (redalyc.org)

42. Ortiz Granja D. El constructivismo como teoría y método de enseñanza. Sophía. 2015;1(19):93. Disponible en: https://www.redalyc.org/pdf/4418/441846096005.pdf
43. Siemens G. Conectivismo: Una teoría de aprendizaje para la era digital. 2007. Disponible en: https://ateneu.xtec.cat/wikiform/wikiexport/_media/cursos/tic/s1x1/modul_3/conectivi smo.pdf
44. Campos LG. Conectivismo como teoría de aprendizaje: conceptos, ideas, y posibles limitaciones. 2012. Disponible en: https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/4169414.pdf
45. Bernal-Garzón E. Aportes a la consolidación del conectivismo como enfoque pedagógico para el desarrollo de procesos de aprendizaje. 2020;2(3):394-412. Disponible en: https: Aportes_a_la_consolidacion_del_conectivismo_como_e.pdf
46. Glassner A, Back S. Connectivism: Networks, Knowledge, and Learning. En: Glassner A, Back S, editores. Exploring Heutagogy in Higher Education: Academia Meets the Zeitgeist [Internet]. Singapore: Springer; 2020:39-47. https://doi.org/10.1007/978-981-15-4144-5_3
47. Trnová E, Trna J. Motivational Effect of Communication Technologies in Connectivist Science Education. 2015. https://doi.org/10.29333/OJCMT/2519
48. de Giorgio A, Monetti FM, Maffei A, Romero M, Wang L. Adopting extended reality? A systematic review of manufacturing training and teaching applications. Journal of Manufacturing Systems. 2023;71:645-63. Disponible en: https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2023.10.016

49. Ipiales J, Araque E, Andaluz V, Naranjo C. Virtual Training System for the Teaching-Learning Process in the Area of Industrial Robotics. Electronics. 2023;12:1-22. Disponible en: https://doi.org/10.3390/electronics12040974 D. Scorgie a, Z. Feng a, D. Paes a, F. Parisi b, T.W. Yiu c, R. Lovreglio : Virtual reality for safety training: A systematic literature review and meta-analysis. 2024. Disponible en: https://doi.org/10.1016/j.ssci.2023.106372

50. Yurii K, Hlib S. Information technology for training the personnel of enterprises by means of virtual reality. Vìsnik Hmel´nic´kogo nacìonal´nogo unìversitetu. 2022. Disponible en: https://doi.org/10.31891/2307-5732-2022-315-6-115-118

51. Mulders, M. Vocational Training in Virtual Reality: A Case Study Using the 4C/ID Model. Multimodal Technol. Interact. 2022; 6(49):2-16. Disponible en: https://doi.org/10.3390/mti6070049

52. Van Wyk E, De Villiers R. Virtual reality training applications for the mining industry. En: Proceedings of the 6th International Conference on Computer Graphics, Virtual Reality, Visualisation and Interaction in Africa [Internet]. Pretoria, South Africa: ACM; 2009:53-63. Disponible en: https://dl.acm.org/doi/10.1145/1503454.1503465

53. Strzałkowski P, Bęś P, Szóstak M, Napiórkowski M. Application of Virtual Reality (VR) Technology in Mining and Civil Engineering. Sustainability. 2024;16(6):2239. https://doi.org/10.3390/su16062239

54. Gürer S, Erkayaoğlu M, Surer E. Mining-Virtual: A comprehensive virtual reality-based serious game for occupational health and safety training in underground mines. Safety Science. 2023;166. Disponible en: https://research-ebs-

co-com.ez.urosario.edu.co/linkprocessor/plink?id=11170057-b7f4- 3e96-aaee-d61c023e64e0

55. Pedram S, Palmisano S, Skarbez R, Perez P, Farrelly M. Investigating the process of mine rescuers' safety training with immersive virtual reality: A structural equation modelling approach. Computers & Education. 2020;153:103891. https://doi.org/10.1016/j.compedu.2020.103891

56. Han Y, Yang J, Diao Y, Jin R, Guo B, Adamu Z. Process and Outcome-based Evaluation between Virtual Reality-driven and Traditional Construction Safety Training. Advanced Engineering Informatics. 2022;52:101634. https://doi.org/10.1016/j.aei.2022.101634

57. Choi D, Seo S, Park H, Hong T, Koo C. Forecasting personal learning performance in virtual reality-based construction safety training using biometric responses. Automation in Construction. 2023;156:105115. https://doi.org/10.1016/j.auton.2023.105115

58. Rey-Becerra E, Barrero LH, Ellegast R, Kluge A. Improvement of short-term outcomes with VR-based safety training for work at heights. Applied Ergonomics. 2023;112:104077. https://doi.org/10.1016/j.apergo.2023.104077

59. Nykänen M, Puro V, Tiikkaja M, Kannisto H, Lantto E, Simpura F, et al. Implementing and evaluating novel safety training methods for construction sector workers: Results of a randomized controlled trial. Journal of Safety Research. 2020;75:205-21. https://doi.org/10.1016/j.jsr.2020.09.015

60. Katz D, Hyers B, Hojsak S, Shin DW, Wang Z yuan, Park C, et al. Utilization of virtual reality for operating room fire safety training: a randomized trial.

Virtual Reality. 2023;27(4):3211-9. https://doi.org/10.1007/s10055-023-00866-0

61. Faghihi A, Naderi Z, Keshtkar MM, Nikrouz L, Bijani M. A comparison between the effects of simulation of basic CPR training and workshops on firefighters' knowledge and skills: experimental study. BMC Medical Education. 2024;24(1):178. https://doi.org/10.1186/s12909-024-05165-z
62. Compton EC, Agrawal SK, Ladak HM, Chan S, Hoy M, Nakoneshny SC, et al. Assessment of a virtual reality temporal bone surgical simulator: A national face and content validity study. Journal of Otolaryngology - Head & Neck Surgery. 2020;49(1):17. https://doi.org/10.1186/s40463-020-00411-y
63. Kenngott HG, Pfeiffer M, Preukschas AA, Bettscheider L, Wise PA, Wagner M, et al. IMHOTEP: cross-professional evaluation of a three-dimensional virtual reality system for interactive surgical operation planning, tumor board discussion and immersive training for complex liver surgery in a head-mounted display. Surg Endosc. 2022;36(1):126-34. https://doi.org/10.1007/s00464-020-08246-4
64. Chang YK, Wu YK, Liu TH. The effectiveness of a virtual reality teaching module on advance care planning and advance decision for medical professionals. BMC Medical Education. 2024;24(1):112. https://doi.org/10.1186/s12909-023-04990-y
65. Eichel VM, Brandt C, Brandt J, Jabs JM, Mutters NT. Is virtual reality suitable for hand hygiene training in health care workers? Evaluating an application for acceptability and effectiveness. Antimicrobial Resistance & Infection Control. 2022;11(1):91. https://doi.org/10.1186/s13756-022-01127-6
66. Diego-Mas JA, Alcaide-Marzal J, Poveda-Bautista R. Effects of using immersive media on the effec-

tiveness of training to prevent ergonomics risks. International Journal of Environmental Research and Public Health. 2020;17(7):2592. https://doi.org/10.3390/ijerph17072592

67. Holuša V, Vaněk M, Beneš F, Švub J, Staša P. Virtual Reality as a Tool for Sustainable Training and Education of Employees in Industrial Enterprises. Sustainability. 2023;15(17):12886. https://doi.org/10.3390/su151712886

68. Husár J, Knapčíková L. Implementation of Augmented Reality in Smart Engineering Manufacturing: Literature Review. Mobile Networks and Applications: The Journal of Special Issues on Mobility of Systems, Users, Data and Computing. 2023;1-14. Disponible en: https://search-ebscohost-com.ezproxy.unbosque.edu.co/login.aspx?direct=true&db=edssjs&AN=edssjs.B7F8F17A&lang=es&site=eds-live&scope=site

69. Dodoo JE, Al-Samarraie H, Alzahrani AI, Lonsdale M, Alalwan N. Digital Innovations for Occupational Safety: Empowering Workers in Hazardous Environments. Workplace Health & Safety. 2024;72(3):84-95. Disponible en: https://search-ebscohost-com.ezproxy.unbosque.edu.co/login.aspx?direct=true&db=mdc&AN=38193448&lang=es&site=eds-live&scope=site

70. Raj S, Murthy LRD, Shanmugam TA, Kumar G, Chakrabarti A, Biswas P. Augmented reality and deep learning based system for assisting assembly process. Journal on Multimodal User Interfaces. 2024;18(1):119-33. Disponible en: https://search-ebscohost-com.ezproxy.unbosque.edu.co/login.aspx?direct=true&db=ed ssjs&AN=edssjs.83247A04&lang=es&site=eds-live&scope=site

71. Maio R, Santos A, Marques B, Ferreira C, Almeida D, Ramalho P, et al. Pervasive Augmented Reality to

support logistics operators in industrial scenarios: a shop floor user study on kit assembly. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology. 2023;127(3-4):1631-49. Disponible en:https://search-ebscohost-com.ezproxy.unbosque.edu.co/login.aspx?direct=true&db=ed ssjs&AN=edssjs.97696BA4&lang=es&site=eds-live&scope=site

72. Sulaiman S, Ali SSA, Adil SH, Ebrahim M, Raza K. Virtual Reality Training and Skill Enhancement for Offshore Workers. En: 2020 International Conference on Computational Intelligence (ICCI). 2020;287-92. Disponible en: https://search-ebscohost-com.ez.urosario.edu.co/login.aspx?direct=true&AuthType=ip &db=edseee&AN=edseee.9247819&lang=es&site=eds-live&scope=site..
73. Gao Y, Gonzalez VA, Yiu TW. The effectiveness of traditional tools and computer-aided technologies for health and safety training in the construction sector: A systematic review. Computers & Education. 2019;138:101-15. Disponible en: https://doi.org/10.1016/j.compedu.2019.05.003
74. Simões B, Amicis R, Segura A, Martín M, Ipiña I. A cross reality wire assembly training system for workers with disabilities. Int J Interact Des Manuf. 2021;15(4):429-40. https://doi-org.ezproxy.unbosque.edu.co/10.1007/s12008-021-00772-2
75. Shankhwar K, Chuang TJ, Tsai YY, Smith S. A visuo-haptic extended reality–based training system for hands-on manual metal arc welding training. International Journal of Advanced Manufacturing Technology. 2022;121:249-65. https://doi.org/10.1007/s00170-022-09328-4
76. Chang CW, Lin CW, Huang CY, Hsu CW, Sung HY, Cheng SF. Effectiveness of the virtual reality chemical disaster training program in emergency nur-

ses: A quasi-experimental study. Nurse Education Today. 2022;119:105613. https://doi.org/10.1016/j.nedt.2022.105613

77. Fan YC, Wen CY. A virtual reality soldier simulator with body area networks for team training. Sensors (Switzerland). 2019;19(3),451. http://dx.doi.org/10.3390/s19030451

78. Serpa YR, Nogueira MB, Rocha H, Macedo DV, Rodríguez MAF. An interactive simulation-based game of a manufacturing process in heavy industry. Entertainment Computing. 2020;34:100343. https://doi.org/10.1016/j.entcom.2020.100343

79. Luo Y, Ahn S, Abbas A, Seo JO, Cha SH, Kim JI. Investigating the impact of scenario and interaction fidelity on training experience when designing immersive virtual reality-based construction safety training. Developments in the Built Environment. 2023;16:100223. https://doi.org/10.1016/j.dibe.2023.100223

80. Heldring S, Jirwe M, Wihlborg J, Berg L, Lindström V. Using High-Fidelity Virtual Reality for Mass-Casualty Incident Training by First Responders - A Systematic Review of the Literature. Prehospital and Disaster Medicine. 2024;39(1):94-105. https://doi.org/10.1017/S1049023X24000049

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

82. Satu P, Jari L, Hanna K, Tomi P, Marja L, Tuisku-Tuuli S. Virtual-Reality training solutions for nuclear power plant field operators: A scoping review. Progress in Nuclear Energy. 2024;169:105104. https://doi.org/10.1016/j.pnucene.2024.105104

83. Bautista L, Maradei F, Pedraza G. Strategies to reduce visual attention changes while learning and training in extended reality environments. Int J Interact Des Manuf. 2023;17:17-43. https://doi.org/10.1007/s12008-022-01092-9
84. Huang D, Wang X, Liu J, Li J, Tang W. Virtual reality safety training using deep EEG-net and physiology data. The Visual Computer. 2022;38(4):1195-1207. https://doi.org/10.1007/s00371-021-02140-3
85. Drakos A, Flandin S, Filippi G, Palaci F, Veyrunes P, Poizat G. From Exploration to Re-Enactment: Instructional Uses of a Desktop Virtual Environment for Training Nuclear Plant Field Operators. Vocations and Learning. 2021;14(2):327-52. https://doi.org/10.1007/s12186-020-09261-1

UNIVERSIDAD EL BOSQUE Editorial

Investigaciones en salud y trabajo

Facultad de Medicina | Año 5, enero-marzo 2026, ISSN: 2954-6044

Grupo de investigación Salud, Ser Humano y Trabajo

n.º 17

Implementación de la realidad virtual para el entrenamiento de trabajadores en escenarios productivos

Fue editado y publicado por la Editorial Universidad El Bosque
Marzo de 2026
Bogotá, Colombia

Para esta edición, se usaron las familias tipográficas:
Ancizar Serif de 10 a 50 puntos.
El formato de este ejemplar es de 14,5 x 21 cm.

UNIVERSIDAD
EL BOSQUE
Editorial