



ENTRENAMIENTO EN GESTIÓN DEL RIESGO EN REALIDAD VIRTUAL

Diseño e implementación de un entorno de entrenamiento para la prevención y gestión del riesgo laboral basado en realidad virtual e interacción háptica

Training in Risk Management in Virtual Reality

Design and Implementation of a Training Environment for the Prevention and Management of Occupational Risk Based on Virtual Reality and Haptic Interaction

VLADIMIR CARDENAS BOCANEGRA, FREDY ANDRÉS OLARTE DUSSAN

Universidad Nacional de Colombia, Colombia

KEYWORDS

*Virtual reality
Haptic devices
Occupational hazard
Hand-tracking
Immersive sensation*

ABSTRACT

Occupational accidents, as well as the different strategies and tools to prevent it, are a topic of global interest, where new technologies such as virtual reality and haptic devices offer opportunities in the generation of training spaces that contribute to their prevention. This paper describes the design process of a virtual reality environment for occupational risk management training using haptic devices. Performance tests of the environment and its validation by operational technical personnel from the electricity sector allowed us to conclude that this type of development contributes to training in risk management in safe spaces.

PALABRAS CLAVE

*Realidad virtual
Dispositivos hápticos
Riesgo laboral
Seguimiento de manos
Sensación inmersiva*

RESUMEN

La accidentalidad laboral, así como las diferentes estrategias y herramientas para prevenirla son un tema de interés global, donde las nuevas tecnologías como la realidad virtual y los dispositivos hápticos ofrecen oportunidades en la generación de espacios de entrenamiento que contribuyan con su prevención. En este artículo se describe el proceso de diseño de un entorno de realidad virtual para el entrenamiento en gestión del riesgo laboral utilizando dispositivos hápticos. Las pruebas de funcionamiento del entorno y su validación por personal técnico operativo del sector eléctrico permitieron concluir que este tipo de desarrollos contribuyen con el entrenamiento en gestión del riesgo en espacios seguros.

Recibido: 19/ 05 / 2022

Aceptado: 03/ 08 / 2022

1. Marco teórico

El regreso a la normalidad laboral trae consigo el problema constante de manejo de incapacidades en las empresas, en especial por el impacto económico asociado. En el año ocurren en el mundo cerca de 317 millones de lesiones asociadas al ámbito laboral (Mock et al., 2017) y más de 320 mil muertes ocupacionales. Las estadísticas de la Administración de Seguridad y Salud Ocupacional de Estados Unidos (Occupational Safety & Health Administration, 2021) indican que algunas de las causas más comunes de accidentes en el trabajo tienen que ver con la falta de señalización ante posible caída de objetos, incumplimiento en la comunicación de riesgos potenciales, escaleras en construcción o mal estado, falta de capacitación en los cuidados para prevenir caídas, entre otras. Cerca del 45% de estos accidentes ocurren en oficinas.

Además del deterioro de la condición física de la persona producto del accidente que generó la incapacidad, también se produce una afectación económica tanto para las empresas, que en el caso de Colombia gastan más de 90 millones de dólares de pesos al año por ausentismos e incapacidades laborales (Consejo Colombiano de Seguridad, 2019), como para las aseguradoras de salud que cubren el 100% de la incapacidad los dos primeros días y el 37% los días siguientes, lo cual implica cerca de 33 millones de dólares al año (Publicaciones Semana S.A., 2018). Adicionalmente, a pesar de los continuos esfuerzos en capacitación del personal que pueden alcanzar inclusive los 500 USD por empleado (Cámara de Comercio de Bogotá, 2019; Jiménez S., 2017), así como los desarrollos en entornos de entrenamiento de realidad virtual (Alawadhi et al., 2017; Liang et al., 2019; Mäkinen et al., 2020; Mendez et al., 2020; O'Connor et al., 2021; Radianti et al., 2020), aún son altos los índices de accidentalidad.

El número de desarrollos en realidad virtual viene en aumento acompañado de la mejora en la potencia gráfica tanto de los motores de desarrollo como de los visores de realidad virtual. Dicha potencia gráfica influye notablemente en la sensación inmersiva del usuario transportándolo a una situación real que contribuye a incrementar la efectividad en el entrenamiento. Otro factor relevante es la disminución de los costos de estas tecnologías haciendo que sea más fácil acceder a ellas por parte de pequeñas empresas y el retorno de la inversión sea más rápido. Un tercer factor influyente es la evolución de los visores de realidad virtual a modalidad *standalone* y la inclusión de *hand tracking*, la primera permite ejecutar experiencias directamente en el visor sin necesidad de estar conectado a un computador, facilitando temas de desplazamiento y costos y la segunda permite la detección de las manos sin accesorios adicionales lo que contribuye considerablemente en la sensación inmersiva ya mencionada.

Ahora bien, la evolución de la tecnología también ha permitido mejoras importantes en la integración de dispositivos cada vez más complejos en desarrollos de realidad virtual, sensores y actuadores que permiten implementar nuevas sensaciones en la experiencia, como es el caso de los dispositivos hápticos, sin embargo, para el tema de entornos de entrenamiento en gestión del riesgo no se encuentra en la bibliografía un número amplio de aplicaciones que incluya interacción háptica. La interacción háptica permite incluir el sentido del tacto como una mejora importante en cuanto a la sensación de inmersión y al realismo que pueden alcanzar los desarrollos basados en herramientas digitales. Además de las situaciones ya mencionadas, las condiciones de riesgo que se presentan en los escenarios habituales del personal operativo (obras en construcción, subestaciones eléctricas, espacios confinados, entre otros), son tan diversas que requieren la mayor cantidad de elementos posibles para reproducirlas dentro de un ambiente de entrenamiento. Al integrar en un solo desarrollo, la tecnología de realidad virtual, con la mayor libertad de desplazamiento real posible, una buena combinación de efectos de sonido y estímulos hápticos se podría contribuir con la generación de espacios de entrenamiento controlados que emulen condiciones reales con la mayor cantidad de detalles posibles y ubiquen a los usuarios en situaciones de riesgo tanto para su entrenamiento en la gestión del mismo como en la posible visualización de las consecuencias de cada tipo de decisión.

Dentro del estado del arte (Schild et al., 2018) se ha identificado que una estrategia exitosa para mejorar la experiencia dentro de un ambiente digital de entrenamiento es la gamificación, técnica a través de la cual se aplican algunas dinámicas propias de los videojuegos a ambientes educativos. La existencia de premios, puntuación, objetos ocultos o un *villano* a vencer incrementan el interés por el uso de estos aplicativos lo que podría influir en la retención de los conceptos pedagógicos incluidos en este tipo de desarrollos. Adicionalmente el acompañar estas experiencias con un buen *storytelling* (Zhang et al., 2021), una interfaz de usuario llamativa y la posibilidad de realizar un trabajo

colaborativo dentro del entorno (Dixken et al., 2019), puede ayudar al usuario a afianzarse con la dinámica de entrenamiento. Así mismo la diversificación de las tecnologías (Buttussi & Chittaro, 2021) y la posibilidad que ofrecen los motores gráficos de generar desarrollos que sean multiplataformas, es una práctica que permite llegar a todo tipo de usuarios y aprovechar las ventajas que ofrece cada tipo de tecnología (IOS, Microsoft, Android).

De acuerdo con la problemática mencionada, en este artículo se describe la creación de un entorno que combina la inmersión de la realidad virtual, con la naturalidad del desplazamiento libre y la inclusión de estímulos físicos como alternativa de mejora para el entrenamiento en gestión de riesgos laborales, particularmente los asociados a riesgos locativos. Se utilizan diferentes configuraciones de dispositivos digitales, se incluyen diferentes escenarios con diferentes tipos de riesgo asociados a cada uno, se realiza la validación del desarrollo con la ayuda de un grupo de operarios que trabajan en el sector eléctrico y posteriormente se integran algunas mejoras al desarrollo a partir de la retroalimentación recibida con el equipo de pruebas. Finalmente se proponen algunas mejoras para trabajos que puedan contribuir con el objetivo de la disminución de la accidentalidad a partir de escenarios inmersivos de entrenamiento.

2. Metodología

Como punto de partida se realizó la consulta bibliográfica de los desarrollos actuales y propuestos para entornos de entrenamiento en gestión del riesgo basados en sistemas de realidad virtual, encontrando varios ejemplos de avance en temas como la medicina (Riva et al., 2019; Roy et al., 2017; Yoshida S et al., 2020), odontología (Mendez et al., 2020) e inclusive en primeros auxilios (Brian at authorbrian, 2019), todos ellos pensados en la disminución de accidentes reportados en actividades laborales (European Statistics, 2022). Además, se identificaron diferentes tipos de dispositivos que podrían ser integrados en este tipo de desarrollos como lo son los visores de realidad virtual y los dispositivos hápticos para interacción o recepción de estímulos. Se seleccionaron para el desarrollo propuesto los más comunes y con mayor cantidad de referencias (visor de realidad virtual, guantes y chaleco hápticos).

Una vez definido el tipo de equipos a integrar, se realizó una búsqueda en plataformas de comercio de tecnología para identificar las opciones de equipos, precios y características, en la cual se encontraron cerca de 80 dispositivos que podrían ser utilizadas para el desarrollo. Dada la diversidad de opciones encontradas se optó por depurar la búsqueda a partir de criterios como precio, antecedentes de uso en otros desarrollos, integración con otros dispositivos, cantidad de sensores, inclusión de tecnología *hand tracking*, entre otros. La aplicación de dichos criterios permitió reducir la base inicial a quince opciones (cinco visores, cinco chalecos hápticos, cinco guantes hápticos), a partir de allí se decidió utilizar una combinación de metodologías de selección multi criterio para la elección de los dispositivos finales.

La plataforma de desarrollo de *software* elegida para la construcción del entorno fue *Unity* (Unity Technologies, 2022), por la cantidad de dispositivos compatibles, el amplio número de ejemplos disponibles, así como el repositorio de contenidos digitales y librerías que permitieran facilitar el proceso de desarrollo (Ver tablas 1 y 2).

Tabla 1. Lista preliminar de equipos seleccionados para el proyecto

Chaleco Háptico	Guantes para RV/RA	Visor de RV
Kickstarter	Manus	Oculus Rift
Tesla Suite	Sensoryx	Oculus Quest
Kor-fx	Tesla	HTC Vive
b-haptix	HaptX	Samsung VR
NullSpace	Captoglove	PlayStation VR
	b-haptix	

Tabla 2. Criterios de evaluación para selección de equipos definitivos

Chaleco Háptico	Guantes para RV/RA	Visor de RV
Precio USD	Precio USD	Precio USD
Peso Kg	Peso Kg	Peso Kg
Disponibilidad de tutoriales o casos de éxito	Tecnología Finger Tracking	Resolución de imagen
Cantidad de sensores	Disponibilidad de tutoriales o casos de éxito	<i>Standalone</i> (sin conexión a computador)
	Cantidad de sensores	Tecnología Hand Tracking

Entre las múltiples opciones encontradas en la bibliografía para la selección a partir de criterios (Mayor et al., 2016), se eligió el método *TOPSIS* (Técnica para el orden de preferencia por similitud con solución ideal) (Halicka, 2020) como primer paso, con el cual se asignó una puntuación a cada dispositivo dependiendo de su distancia geométrica del caso ideal. El caso ideal representaba aquel dispositivo que tuviera la máxima puntuación en cada criterio (menor precio, mayor número de sensores, mayor cantidad de referencias bibliográficas, etc). La aplicación de este método permitió identificar como las mejores opciones el visor de realidad virtual *Oculus Quest II* (Meta Quest, 2022) que cuenta con tecnología de *Hand Tracking* y permite ejecutar aplicación con y sin conexión a un computador, el chaleco *b-haptix* (bHaptics Inc, 2022) que cuenta con 40 motores distribuidos en pecho y espalda y que se activan individualmente para definir diferentes patrones de vibración variando en intensidad y vibración.

Finalmente se seleccionaron los guantes de interacción háptica Captoglove (MMC Design, 2020) que cuentan con tecnología *Finger tracking* que permite la activación de gestos al detectar el movimiento específico de cada dedo, además de ser los más livianos entre las opciones (figura 1).

Figura 1a. Resultado metodología *TOPSIS* para visores RV priorizando criterios de precio y *standalone*

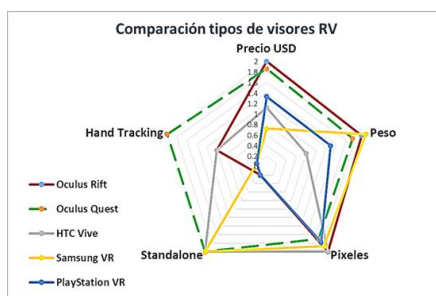
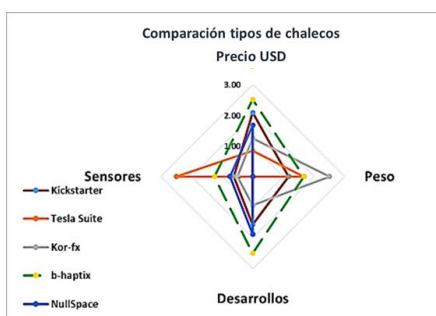


Figura 1b. Resultado metodología *TOPSIS* para chalecos hápticos priorizando criterios de precio y cantidad de sensores

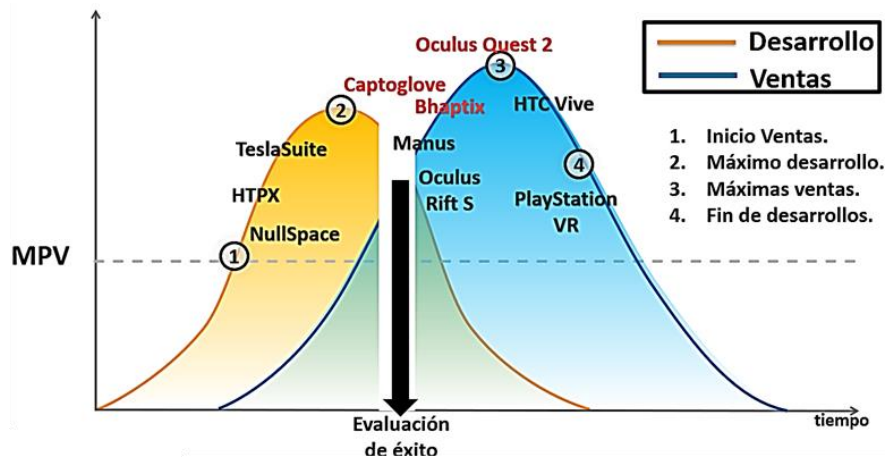


Una vez seleccionados los equipos por la puntuación del método *TOPSIS* se prosiguió con la evaluación de su madurez tecnológica mediante la aplicación de los criterios establecidos en la metodología TRL (*Technology Readiness Level*) propuesta por la NASA (National Aeronautics and Space Administration, 2021) y que permite definir si un producto está listo para su puesta en marcha y comercialización, con la cual se confirmó que los dispositivos seleccionados se encontraban en el

momento adecuado de evolución tecnológica que les permite un desarrollo robusto tanto en funcionamiento como en soporte técnico.

Por último, utilizando la metodología TLC (*Technology Life Cycle*) (Bergerson et al., 2020) (Lee & Su, 2015) se evaluaron las posibilidades de desarrollo de cada dispositivo en cuanto a mejoras por parte del fabricante, estado de ventas y posible tiempo de servicio técnico. Luego de la validación se confirmó que los dispositivos aún estaban en una etapa de desarrollo en la cual aún podrían recibir suficiente soporte técnico, actualizaciones de *software* y disponibilidad comercial (figura 2).

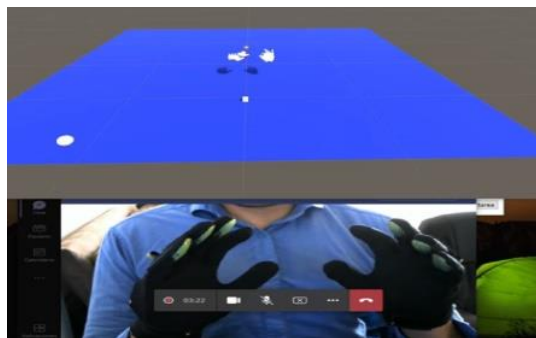
Figura 2. Resumen proyección de ciclo de vida



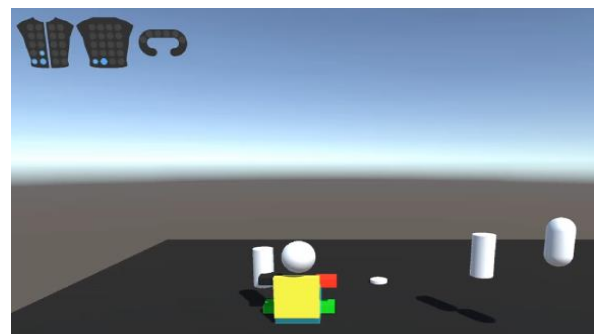
Fuente: construido a partir de Bergerson et al., 2020

Seleccionados los dispositivos y la plataforma de desarrollo se inició un proceso de pruebas de funcionamiento, en las cuales se utilizó el *software* nativo de cada dispositivo para evaluar su desempeño, velocidad de respuesta a cambios, integración con *Unity*, integración tanto con el visor de RV como con otros dispositivos y estabilidad de comunicación *bluetooth* (figura 3). Las pruebas de funcionamiento permitieron concluir que los dispositivos cumplían con la función principal de contribuir con un ambiente inmersivo y una interacción lo más natural posible y adicionalmente, gracias a la presencia de la tecnología de *hand tracking* en el visor de realidad virtual, era posible desarrollo un mismo entorno para dos plataformas diferentes.

Figura 3. Pruebas individuales realizadas a cada dispositivo en *software* nativo



Pruebas de funcionamiento guantes Captoglove.



Pruebas de funcionamiento chaleco y sensor facial bhaptix.



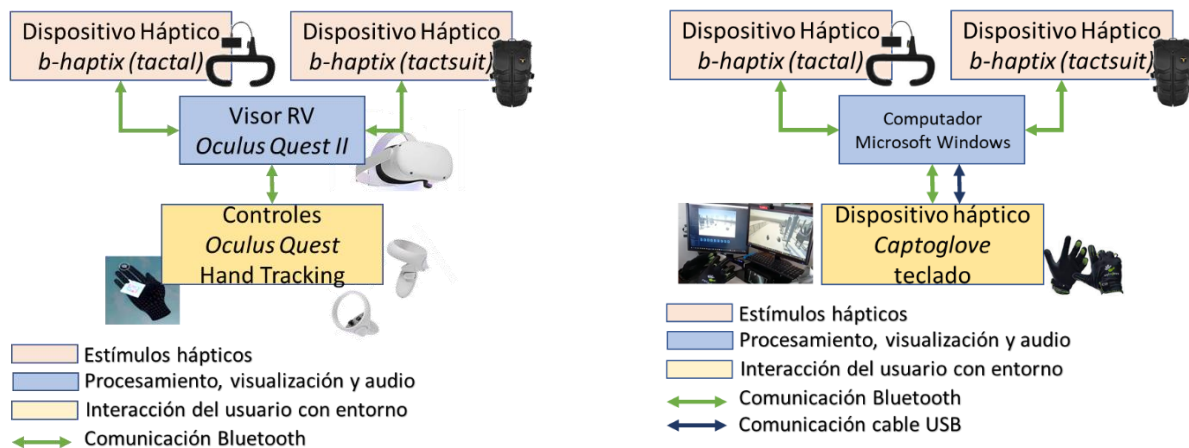
c. Pruebas de funcionamiento tecnología Hand Tracking en las gafas Oculus Quest.



Pruebas de funcionamiento de recorrido en espacios amplios sin controles en las Oculus Quest.

Con lo anterior se construyó un entorno de realidad virtual para ser ejecutado desde las gafas *Oculus Quest II*, donde los estímulos hápticos se reciben a través del chaleco *bHaptics*, la interacción se realiza utilizando las manos sin accesorios adicionales y para el desplazamiento se tenía la opción de realizar gestos con las manos o desplazarse físicamente en una escala 1:1. El segundo entorno se diseñó para ser ejecutado desde un computador con sistema operativo *Windows*, los estímulos hápticos se reciben a través del chaleco *bHaptics* y la interacción se realiza utilizando los guantes *Captoglove*, en este caso el estímulo visual se realiza a través del monitor del computador y para el sonido se utilizaron audífonos inalámbricos para mantener la sensación de realismo y comodidad (figura 4).

Figura 4 Esquema general del desarrollo para ejecución con visor de realidad virtual (izquierda) y con computador (derecha)



Fuente: construido a partir de bHaptics Inc, 2022; HaptX Inc, 2022 y MMC Design, 2020

Para la integración de los diferentes dispositivos y la interacción con el usuario se diseñaron varias librerías que permitieron administrar la activación de los estímulos, la lógica de control de los dispositivos, la interfaz con el usuario, además de la posibilidad de modificarlas con facilidad en caso de querer reproducir la experiencia en otros tipos de escenario. Para la interacción y configuración de los guantes hápticos se tomó como referencia el trabajo desarrollado por el grupo de investigación GITEI de la Universidad Nacional de Colombia (Moreno Rodríguez, 2021) en el cual se generó el código fuente para la comunicación entre los guantes y la plataforma de *Unity* así como las bases para la configuración de los mismos.

Como último paso para el desarrollo de los prototipos se seleccionaron dos escenarios lo más cercanos posible a la realidad y que por su naturaleza permitieran incluir la mayor cantidad de situaciones de riesgo posible. Para ello se seleccionaron una subestación eléctrica (figura 5) y un pozo petrolero (figura 6), en los cuales se incluyeron condiciones de riesgo eléctrico, fragmentación de

objetos, fuga de gas, presencia de humo y material particulado. Para cada elemento se incluyó la lógica adecuada que permitiera modificarlo, reubicarlo o reemplazarlo con facilidad, esto pensando en facilitar los trabajos futuros y la diversificación de la aplicación.

Figura 5. Desarrollo 3D seleccionados del repositorio digital de Unity para ser utilizarse en las pruebas de desarrollo de las plantillas. *Unity (2022)*

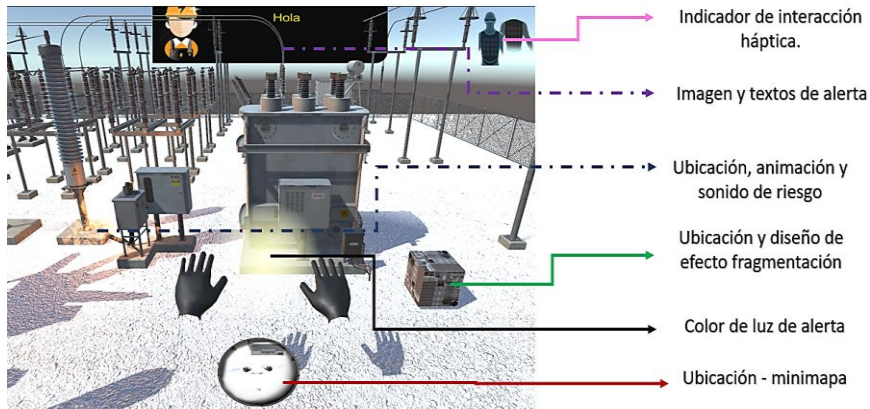


Durante el desarrollo se observó que la estabilidad de la comunicación *bluetooth* de los dispositivos con el computador podría ser inestable con el receptor del fabricante, pero que presentaba una mejora considerable al utilizar un solo receptor de alta potencia para vincular todos los dispositivos, igualmente las pruebas con el visor de realidad virtual se facilitaron al contar con un cable *USB C* blindado lo cual redujo los tiempos de pruebas al omitir la compilación para ejecución directa desde el visor. También se realizaron varias iteraciones para ajustar la detección de los gestos que permitían girar y desplazarse a partir del uso de las manos y los guantes, esto dado que la altura relativa de las manos generaba detecciones fallidas en el caso de extender uno o varios dedos; para ello el uso de un rango de detección, así como la altura relativa de una mano con respecto a la otra contribuyeron con el ajuste necesario.

En general la dinámica del entorno consistía en ubicar al usuario en una vista de primera persona donde puede observar sus manos y desplazarse libremente por cada entorno. En el entorno encontraba diferentes situaciones de riesgo que, al acercarse demasiado o inclusive intentar tocarlas generaba una vibración en el chaleco, proporcional al riesgo activado. Para desplazarse podía utilizar diferentes gestos predefinidos con las manos, también podía utilizar los controles en el caso de la aplicación de realidad virtual o el teclado en el caso del computador, o inclusive, en caso de contar con suficiente espacio, podía desplazarse físicamente dado que el escenario cuenta con una escala 1:1 a la realidad (figura 6).

Los mensajes de alerta en la parte superior de la pantalla solo estaban presentes durante la exposición a alguno de los riesgos dispuestos en el entorno, dicha interfaz puede mantenerse fija, ser intermitente o eliminarse por completo. Durante la etapa de diseño se consideró que era importante la retroalimentación al usuario sobre el tipo de condición que estaba generando la exposición al riesgo y las posibles acciones que le permitirían gestionarlo de una manera apropiada. Por otro lado, el mini mapa circular de la parte inferior se incluyó solamente en la versión que no utiliza el visor de realidad virtual, esto para facilitar la ubicación relativa del usuario cuando la visualización es a través de una pantalla, sin embargo, para la experiencia de realidad virtual se consideró que no solo no era necesario, sino que podría limitar la sensación de realismo.

Figura 6. Interfaz del escenario de entrenamiento desarrollado.



De la misma forma el indicador de impacto compuesto por rostro, pecho y espalda ilumina los sectores afectados por la exposición al riesgo y está sincronizado con los actuadores del chaleco háptico para facilitar al usuario el reconocimiento de los puntos de impacto. Este indicador también es intermitente y es posible mantenerlo desactivado.

Adicional a las dos plataformas se configuró la plataforma de *Unity* para exportar el proyecto en formato smartphone específicamente para *Android 6* o superior, no se realizó la sincronización con el actuador facial ya que al no tener el visor de realidad virtual no era tan cómodo de ajustar, pero si se realizó la conexión *bluetooth* con el chaleco de forma exitosa, sin embargo no fue posible la sincronización simultanea con los guantes hápticos por lo que se realizó una modificación en la interfaz para que el desplazamiento se pudiera realizar utilizando cuatro controles táctiles ubicados en los extremos de la pantalla y el resto de la experiencia se mantuviera igual. Adicionalmente se escalaron algunos de los detalles de la interfaz de usuario y se eliminó el mapa para no limitar la visibilidad del escenario.

Si bien tanto el desplazamiento como la lógica de la interfaz de usuario y la vibración del chaleco funcionaron adecuadamente se observó que existían pequeños retrasos entre los comandos y dado el tamaño reducido de la pantalla, la experiencia inmersiva se veía limitada. Sin embargo, la prueba sirvió para identificar algunos bugs que se habían generado en la activación de la animación de riesgo eléctrico por lo tanto se hicieron los ajustes respectivos en el código fuente y se generaron las versiones definitivas para las dos plataformas planteadas previamente.

Luego de finalizado el desarrollo para las dos plataformas, con los riesgos seleccionados, se contó con la validación de un grupo de 23 operarios técnicos del sector eléctrico de diferentes edades, géneros y contextura física, que tuvieron la posibilidad de interactuar con los dos diseños (para visor de VR y para computador) tanto en el escenario de subestación eléctrica, como en el pozo petrolero (figura 7). De los comentarios recibidos se tomaron conclusiones importantes tanto para trabajos futuros como para el desarrollo actual las cuales se describen en la siguiente sección.

Figura 7 Pruebas de validación de entornos de entrenamiento en detección de riesgos con personal operativa.



En la sesión de pruebas con el personal operativo se utilizó inicialmente la configuración que se ejecutaba desde el computador utilizando los guantes *Captoglove* para controlar el desplazamiento;

luego de una breve instrucción los operarios se acostumbraron a los gestos que les permitían acercarse, alejarse, rotar y moverse lateralmente solo con el movimiento de las manos. El escenario de la subestación eléctrica que contaba con espacio más amplio de desplazamiento fue ideal para la sesión de práctica y posteriormente se realizó la misma prueba con el escenario del pozo petrolero en el cual se observó alguna dificultad para los movimientos más finos. En ambos casos lo más llamativo fue la vibración que se generaba en el chaleco, especialmente cuando se activaban los riesgos de colisión y caída de objetos que eran los que generaban la activación más prolongada y con mayor intensidad.

Posterior a la prueba en el computador se realizó la actividad utilizando el visor de realidad virtual junto con el chaleco, allí se realizaron tres tipos de pruebas, la primera requería de gestos similares a los utilizados con los guantes para el desplazamiento, la segunda incorporaba los controles propios de las gafas *Oculus Quest* y el tercero permitía el desplazamiento libre en escala real sin necesidad de controles adicionales. En esta última prueba fue necesario repetir la experiencia varias veces ya que la iluminación requería de ciertas condiciones para no generar inestabilidad en la ejecución del desarrollo, dichas condiciones incluían la presencia de luz artificial o ausencia de sol en plenitud; adicionalmente se requirió un espacio amplio (200m²) para realizar el desplazamiento sin riesgo de colisión con algún objeto.

En las pruebas de experiencia en el primer escenario, se permitió inicialmente el desplazamiento libre para los participantes, si bien se tenía una hoja de ruta óptima, la idea de libertad de interacción permitía realizar la ejecución con mayor naturalidad. Al iniciar el recorrido los participantes se encontraban en la esquina de la subestación con vistas a varios transformadores y una mesa con herramientas manuales, la mayoría decidió caminar a lo largo del escenario, antes de iniciar la interacción con algunas de las herramientas. Al acercarse a ciertos dispositivos se generaba el efecto de fuego, humo o riesgo eléctrico con su sonido y animación respectivas, todos ellos generaban la activación del chaleco en la parte frontal a lo largo de todo el pecho y en la espalda media baja, Otros riesgos como la caída de objetos la colisión o el material particulado generaba la activación de todos los motores asociados al chaleco de manera que se generará un hormigueo fuerte y de larga duración en todo el torso. En la interacción con las herramientas se observó que gracias a la tecnología *hand tracking* y la precisión del visor de realidad virtual seleccionado permitía que interactuaran con dos herramientas al mismo tiempo cada uno en una mano, entre ellas o con inclusive con una tercera herramienta.

Luego de las pruebas se recibieron múltiples comentarios (figura 8) resaltando la sensación inmersiva, la facilidad de uso, la comodidad de los dispositivos y la aplicabilidad e importancia de estos desarrollos para entrenamiento en gestión del riesgo en escenarios seguros, varios de los participantes inclusive reconocieron situaciones de riesgo a las que han estado expuestos en la vida real y valoraron la importancia de poder entrenarse en condiciones que emulan la realidad. La vibración en el torso producto de la activación de los sensores del chaleco fue de los aspectos más resaltados, mientras que el desplazamiento utilizando gestos con las manos les generó un poco de incomodidad.

Figura 8. Resumen de comentarios del grupo de pruebas

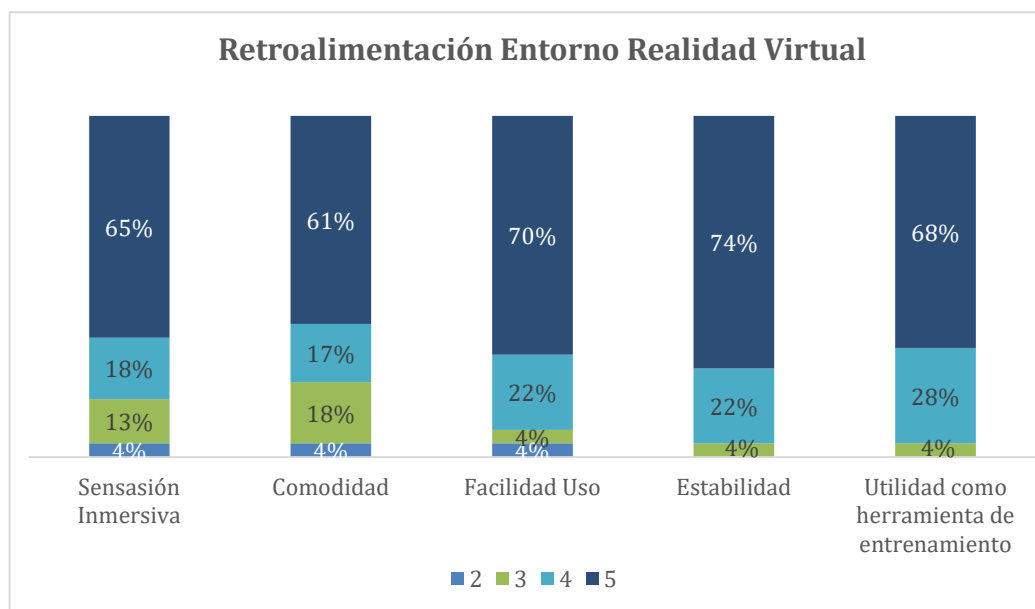
¿Qué agregar ?	¿En qué mejorar ?
<ul style="list-style-type: none"> • Personajes controlados por el entorno, que generen distracción. • Vibración en las manos. • Interacción de varios usuarios en un mismo escenario. • Dispositivos hápticos en extremidades inferiores. • Más dispositivos de vibración en extremidades. 	<ul style="list-style-type: none"> • Movimientos bruscos al usar los guantes. • Sensación de mareo posterior al uso. • Eliminar control de gestos. • Vibración de la cara genera desajuste en el visor de RV. • Ruido Ambiente según el escenario. • Control de velocidad de desplazamiento • Más herramientas para seleccionar.

El desempeño de los equipos durante las pruebas fue aceptable, sin embargo, se generaron algunos problemas de inestabilidad en la comunicación de los guantes con el computador lo que en ocasiones generó visualización errática del movimiento de las manos. A pesar de esto se resaltó la calidad gráfica

aún desde el computador y la facilidad de uso para las ocasiones en las que no se cuente con un visor de realidad virtual. Un aspecto en el que se recibieron comentarios de forma reiterativa fue en la necesidad de incluir en este tipo de desarrollos el factor de terceros personajes, ya que, según comentaba el grupo, una buena cantidad de los accidentes que ocurren en campo están relacionados con otras personas o inclusive animales que interfieren en la actividad generando distracción sobre el ejecutor o al estar ellas mismas en riesgo, por eso consideraban que la inclusión de este tipo de factor de riesgo podría contribuir en buena manera en la sensación de realismo de la experiencia.

En la bibliografía consultada se identificaron aspectos de mejora recurrentes sugeridos por los autores como sensación inmersiva definida como que tan real puede parecer una experiencia de entrenamiento, agregando mejores contenidos digitales o a incluyendo nuevos dispositivos de interacción que no afecten la facilidad de uso del dispositivo ni se conviertan en una molestia para el usuario. A partir de dichos comentarios se decidió evaluar la percepción de los usuarios con respecto a aspectos como la sensación inmersiva, entendiendo la misma como el nivel de realismo del aplicativo y la comodidad de los equipos fueron en lo que se recibió una calificación más baja, 4.4 y 4.3 respectivamente en escala de 1 a 5 (figura 9) en algunos casos por el peso de las gafas y en otros por la calidad gráfica observada en la simulación por computador.

Figura 9 Resultados de evaluación a diferentes criterios del entorno (1 nada satisfactorio, 5 muy satisfactorio)



Por otro lado, la utilidad del desarrollo como herramienta de entrenamiento tuvo la calificación más alta de los ítems evaluados (4,7), tema en el cual independiente de la tecnología utilizada, los participantes consideraron que representaba un aporte importante en el objetivo de contar con espacios de entrenamiento seguros que disminuyan la accidentalidad laboral. Allí se resaltó la solución planteada al inconveniente de los altos costos de reproducción y diversificación de los desarrollos, al incluir plantillas a partir de las cuales se pueden generar nuevos escenarios para distintos tipos de riesgos.

En general en la evaluación se recibió un comentario reiterativo, igual que sucede en la literatura, relacionado con la sensación de mareo generada por las gafas por la alteración a la propiocepción dado que el cerebro recibe señales diferentes sobre la posición del cuerpo, una a partir de los ojos y otra a partir del tacto y la posición del cuerpo como tal, este es un punto en el que la tecnología aún presenta importantes oportunidades de mejora (Zakharov, 2021).

Por otro lado, al tratarse de un aplicativo de entrenamiento a través de dispositivos digitales, algunos de los participantes comentaron que extrañaron la ausencia de un sistema de puntos, retos y componentes propios de los juegos, que para este tipo de aplicativo contribuyen con la motivación del participante a estar más atento a las condiciones de riesgo y de esta manera contribuir con el objetivo

principal del desarrollo el cual es fortalecer las habilidades de detección del riesgo así como la toma de decisiones para la gestión del mismo.

Luego de las primeras pruebas y recogiendo los comentarios recibidos se incluyeron algunos ajustes en los dos escenarios asociados al factor de distracción. El primero de ellos fue incluir personajes controlados por el computador que se estaban desplazando a lo largo y ancho del escenario; estos personajes estaban caracterizados tanto como operarios del lugar como visitantes e inclusive se incluyó algún vehículo; asociado a la animación del personaje controlado por el computador, adicionalmente se incluyó sonido de conversación en algunos casos con volumen elevado que incluyera como factor distractor. El segundo ítem en el que se realizaron mejoras fue en los efectos de sonido, si bien se habían incluido inicialmente efectos de sonido asociados a la caída de objetos, arco eléctrico, incendio, entre otros, se realizaron mejoras en el manejo del volumen ya que tanto la distancia como el tipo de evento generaban variaciones en el volumen a considerar para cada caso (figura 10).

Figura 10. Interfaz de desarrollo incluyendo personajes y vehículos controlados por la IA.



3. Discusión y conclusiones

Durante la investigación se generó un entorno de realidad virtual para entrenamiento en gestión de riesgo locativo incluyendo interacción háptica, como propuesta de mejora a las opciones actuales para atender la problemática de la accidentalidad laboral. Hasta donde tenemos conocimiento no se encuentra disponible en el mercado o en la literatura consultada un desarrollo similar que permita aumentar la sensación de inmersión a través de la generación de vibraciones en diferentes partes del cuerpo a la vez que permite desplazarse en un escenario en tamaño real. También es importante mencionar como aporte de la investigación que, al no encontrar en la bibliografía una metodología general para la selección de dispositivos de tecnología emergente para este tipo de desarrollos, se propuso una combinación de metodologías existentes para decisiones multicriterio que permitieron seleccionar los dispositivos más adecuados según unos criterios establecidos, los cuales contaban con la madurez tecnológica apropiada para contribuir con el desarrollo.

Por otro lado, se logró corroborar la utilidad del desarrollo, la comodidad de los dispositivos elegidos y la estabilidad del entorno gracias a la participación de un grupo heterogéneo de operarios técnicos del sector eléctrico, quienes trabajan a diario expuestos a diferentes riesgos y que representan el público objetivo de este tipo de desarrollos. En este punto se detecta la necesidad de trabajar de la mano con el personal operativo que está expuesto a este tipo de riesgos en cada uno de los escenarios, ya que ellos conocen los pormenores de las condiciones que pueden generar distracción o una ejecución en condiciones no óptimas que a la larga genere una condición de riesgo. Una de las mejoras que se puede trabajar de la mano con el personal operativo es el tipo de sensación

que debe generar el chaleco dependiendo de cada condición de riesgo, el dispositivo permite controlar de manera independiente cada uno de los 40 sensores, por lo tanto, vale la pena destinar el espacio para evaluar las condiciones de ubicación, tiempo e intensidad para cada caso, inclusive la forma de anidar varias activaciones si se está en presencia de varios riesgos de forma simultánea.

En cuanto a la tecnología disponible para el entrenamiento de personal operativo en gestión del riesgo en actividades de campo, se observa que aún existen muchas posibilidades de mejora, por ejemplo un punto a considerar es la sensación olfativa la cual puede ser muy relevante en escenarios de riesgo eléctrico, de fuga de gas, de presencia de sustancias tóxicas en el aire e inclusive como sistema de detección de cambios en la temperatura ; el control de la temperatura por su parte jugaría un papel importante si se pudiera asociar a algún dispositivo háptico tipo chaleco, guantes, pantalón, mangas o cualquier otro que esté en contacto con la piel del usuario, ya que si se busca una ambientación térmica en un espacio cerrado puede ser más costoso y de más difícil acceso; el control de dicha temperatura permitirá entrenar no solamente a los operarios para condiciones de riesgo, sino en condiciones climáticas adversas que puedan generar una distracción que conlleve a la creación de dicho riesgo.

Durante el desarrollo se observó que dada la versatilidad tanto del visor de realidad virtual como del chaleco háptico, un tipo de riesgo al cual se podría adaptar este tipo de entornos es el riesgo de tipo ergonómico, con algunos ajustes se podría utilizar el chaleco para identificar malas posturas y generar vibración indicando al usuario en qué momento incurre en posiciones que puedan derivar en el deterioro físico así como la indicación de buenas prácticas para mantener una buena posición en el lugar de trabajo, sea desde la oficina o desde la casa.

Otro punto importante de mejora a partir del desarrollo presentado es la diversificación de los escenarios de entrenamiento asociados a diferentes actividades de campo, así como la posibilidad de evaluar un entorno multiusuario en el que varios participantes puedan interactuar simultáneamente en el mismo escenario. También valdría la pena, a partir de lo desarrollado exportar el aplicativo a otras plataformas como *Android* y *IOS* (para móviles y tabletas) e inclusive consolas de videojuegos.

El desarrollo presentado a lo largo de este artículo fue diseñado en bloques de código que puedan ser incluidos en futuros entornos sin generar demasiado trabajo de programación; para ello se generaron plantillas en las cuales el nuevo diseñador puede ir insertando el escenario, los objetos 3d, los sonidos, los mensajes de interacción con el usuario y demás elementos, sin necesidad de desarrollar una nueva lógica de interacción, activación de riesgos o activación de los dispositivos hápticos. En las pruebas realizadas, el trasladar la dinámica de entrenamiento a un nuevo tipo de escenario no debería tomar más de uno o dos días de trabajo dedicado a la ubicación espacial de los elementos y la personalización de orden de aparición de los efectos. Esta facilidad de personalización se aplicó tanto para el desarrollo destinado a ejecución en el visor de realidad virtual como en el de computador, con el objetivo que tanto la masificación como la diversificación de este tipo de desarrollos no implique demasiada inversión en tiempo y costos lo que facilite la toma de decisión por parte de las empresas para implementar estas soluciones dentro de su plan de desarrollo en temas de seguridad ocupacional y salud en el trabajo, todo lo anterior con el objetivo principal de preservar la salud de los trabajadores brindándoles mejores herramientas de capacitación.

Finalmente es importante mencionar que uno de los temas para tener en cuenta en futuros desarrollos identificado tanto por el desarrollador como por los usuarios, es la sensación de mareo o desorientación que se genera al utilizar el visor de realidad virtual durante un tiempo prolongado.

Referencias

- Alawadhi, S., Alhabib, N., Murad, D., Aldeei, F., Alhouti, M., Beyrouthy, T., & Al-Kork, S. (2017). Virtual reality application for interactive and informative learning. *BioSMART 2017 - Proceedings: 2nd International Conference on Bio-Engineering for Smart Technologies*. <https://doi.org/10.1109/BIOSMART.2017.8095336>
- Bergerson, J. A., Brandt, A., Cresko, J., Carbajales-Dale, M., MacLean, H. L., Matthews, H. S., McCoy, S., McManus, M., Miller, S. A., Morrow, W. R., Posen, I. D., Seager, T., Skone, T., & Sleep, S. (2020). Life cycle assessment of emerging technologies: Evaluation techniques at different stages of market and technical maturity. *Journal of Industrial Ecology*, 24(1), 11–25. <https://doi.org/10.1111/jiec.12954>
- bHaptics Inc. (2022). *Next generation full body haptic suit - Forty feedback points*. <https://www.bhaptics.com/>
- Brian at authorbrian. (2019). *FIRST AID VR | First Aid VR Training Australia*. <https://firstaidvr.com.au/>
- Buttussi, F., & Chittaro, L. (2021). A Comparison of Procedural Safety Training in Three Conditions: Virtual Reality Headset, Smartphone, and Printed Materials. *IEEE Transactions on Learning Technologies*, 14(1), 1–15. <https://doi.org/10.1109/TLT.2020.3033766>
- Cámara de Comercio de Bogotá. (2019). *Gestión de riesgos laborales*. <https://bit.ly/3dBf5aD>
- Consejo Colombiano de Seguridad. (2019). *Cómo le fue a Colombia en accidentalidad, enfermedad y muerte laboral en 2018*. <https://bit.ly/2Ksaw0r>
- Dixken, M., Diers, D., Wingert, B., Hatzipanayioti, A., Mohler, B. J., Riedel, O., & Bues, M. (2019). Distributed, collaborative virtual reality application for product development with simple avatar calibration method. *26th IEEE Conference on Virtual Reality and 3D User Interfaces, VR 2019 - Proceedings*, 1299–1300. <https://doi.org/10.1109/VR.2019.8797884>
- European Statistics. (2022). *Accidents at work statistics - Statistics Explained*. <https://bit.ly/3w3ZIU4>
- Halicka, K. (2020). Technology selection using the TOPSIS method. *Foresight and STI Governance*, 14(1), 85–96. <https://doi.org/10.17323/2500-2597.2020.1.85.96>
- HaptX Inc. (2022). *Haptic gloves for virtual reality and robotics*. <https://haptx.com/>
- Jiménez S., E. (2017). Evaluación financiera del sistema de seguridad y salud ocupacional en la empresa privada y su impacto económico – social. *Actualidad Contable Faces*, 20(34), 102–118. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=25749951007>
- Lee, P., & Su, H. (2015). How to analyze technology life cycle from the perspective of patent characteristics? *2015 Portland International Conference on Management of Engineering and Technology (PICMET)*, 2079–2083. <https://doi.org/10.1109/PICMET.2015.7273161>
- Liang, Z., Zhou, K., & Gao, K. (2019). Development of Virtual Reality Serious Game for Underground Rock-Related Hazards Safety Training. *IEEE Access*, 7, 118639–118649. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2019.2934990>
- Mäkinen, H., Haavisto, E., Havola, S., & Koivisto, J. M. (2020). User experiences of virtual reality technologies for healthcare in learning: an integrative review. *Behaviour and Information Technology*, 1–17. <https://doi.org/10.1080/0144929X.2020.1788162>
- Mayor, J., Botero, S., & González-Ruiz, J. D. (2016). Modelo de decisión multicriterio difuso para la selección de contratistas en proyectos de infraestructura: caso Colombia. *Obras y Proyectos*, 20, 56–74. <https://doi.org/10.4067/S0718-28132016000200005>
- Mendez, K. J. W., Piasecki, R. J., Hudson, K., Renda, S., Mollenkopf, N., Nettles, B. S., & Han, H. R. (2020). Virtual and augmented reality: Implications for the future of nursing education. *Nurse Education Today*, 93, 104531. <https://doi.org/10.1016/J.NEDT.2020.104531>
- Meta Quest. (2022). *Oculus Quest 2: Our Most Advanced New All-in-One VR Headset*. <https://store.facebook.com/quest/products/quest-2/>
- MMC Design. (2020). *CaptoGlove® Virtual Reality & smart glove VR AR PC*. CaptoGlove® Inc. <https://www.captoglove.com/>
- Mock, C. N., Smith, K. R., Kobusingye, O., Nugent, R., Abdalla, S., Ahuja, R. B., Apramian, S. S., Bachani, A. M., Bellis, M. A., Butchart, A., Cantley, L., Chase, C., Cullen, M., Dabestani, N., Ebi, K. L., Fang, X., Gururaj, G., Guttikunda, S., Hess, J. J., ... Watkins, D. A. (2017). Injury Prevention and Environmental Health: Key Messages from Disease Control Priorities, Third Edition. In *Disease*

- Control Priorities, Third Edition (Volume 7): Injury Prevention and Environmental Health* (pp. 1–23). The World Bank. https://doi.org/doi:10.1596/978-1-4648-0522-6_ch1
- Moreno Rodríguez, L. A. (2021). *Desarrollo de una herramienta de software para la integración de sensores hápticos a interfaces de realidad aumentada orientadas al entrenamiento industrial*. Universidad Nacional de Colombia.
- National Aeronautics and Space Administration. (2021). *Technology Readiness Level | NASA*. <https://go.nasa.gov/3JZpzNt>
- Occupational Safety & Health Administration. (2021). *Top 10 Most Frequently Cited Standards | Occupational Safety and Health Administration*. <https://www.osha.gov/top10citedstandards>
- O'Connor, M., Stowe, J., Potocnik, J., Giannotti, N., Murphy, S., & Rainford, L. (2021). 3D virtual reality simulation in radiography education: The students' experience. *Radiography*, 27(1), 208–214. <https://doi.org/10.1016/j.radi.2020.07.017>
- Publicaciones Semana S.A. (2018). *Reduciendo los riesgos laborales en las empresas colombianas*. <https://bit.ly/3PxiO6u>
- Radianti, J., Majchrzak, T. A., Fromm, J., & Wohlgenannt, I. (2020). A systematic review of immersive virtual reality applications for higher education: Design elements, lessons learned, and research agenda. *Computers & Education*, 147, 103778. <https://bit.ly/3IX4RNY>
- Riva, G., Wiederhold, B. K., & Mantovani, F. (2019). Neuroscience of Virtual Reality: From Virtual Exposure to Embodied Medicine. *Cyberpsychology, Behavior, and Social Networking*, 22(1), 82–96. <https://doi.org/10.1089/cyber.2017.29099.gri>
- Roy, E., Bakr, M. M., & George, R. (2017). The need for virtual reality simulators in dental education: A review. In *Saudi Dental Journal*, 29(2), 41–47. Elsevier B.V. <https://bit.ly/3bW9TxU>
- Schild, J., Misztal, S., Roth, B., Flock, L., Luiz, T., Lerner, D., Herkersdorf, M., Weaner, K., Neuberger, M., Franke, A., Kemp, C., Pranthofer, J., Seele, S., Buhler, H., & Herpers, R. (2018). Applying Multi-User Virtual Reality to Collaborative Medical Training. *25th IEEE Conference on Virtual Reality and 3D User Interfaces, VR 2018 - Proceedings*, 775–776. <https://bit.ly/3SUG6Gb>
- Unity Technologies. (2022). *Learn Game Development Without Coding Experience | Unity*. <https://unity.com/learn>
- Yoshida S, Taniguchi N, Moriyama S, Uehara S, Tanaka H, Kijima T, Yokoyama M, Ishioka J, Matsuoka Y, Saito K, & Fujii Y. (2020). *PT196 Application of virtual reality in patient education about MRI-ultrasound fusion prostate biopsy Eur Urol Open Sci 2020*, 19(Suppl 2), e1981.
- Zhang, L., Lu, F., Tahmid, I. A., Davari, S., Lisle, L., Gutkowski, N., Schlueter, L., & Bowman, D. A. (2021). Fantastic voyage 2021: Using interactive VR storytelling to explain targeted COVID-19 vaccine delivery to antigen-presenting cells. *Proceedings - 2021 IEEE Conference on Virtual Reality and 3D User Interfaces Abstracts and Workshops, VRW 2021*, 695–696. <https://doi.org/10.1109/VRW52623.2021.00230>
- Zakharov, A., & Kolsanov, A., & Khivintseva, E., Pyatin, V., & Yashkov, A. (2021). Proprioception in Immersive Virtual Reality. In J. A. Vega, & J. Cobo (Eds.) *Proprioception*. IntechOpen. <https://doi.org/10.5772/intechopen.96316>