

Un Modelo de Objetivos de Aprendizaje y una Metodología Basados en Tutoriales para el Entrenamiento en Escenarios de Emergencia Radiológica

A Tutorial-Based Learning Objectives Model and Methodology for Training in Radiation Emergency Scenarios

Alejandro Villar Rubio

Departamento de Ingeniería Informática e Inteligencia Artificial

Universidad Complutense de Madrid

Madrid, España

avillarrubio@ucm.es

Carlos León

Departamento de Ingeniería Informática e Inteligencia Artificial

Universidad Complutense de Madrid

Madrid, España

cleon@ucm.es

Recibido: 15.10.2023 | Aceptado: 29.11.2023

Palabras Clave

Realidad virtual
Entorno virtual
Estrés
Proceso de aprendizaje
Detección
Emergencia radiológica
Interacción persona ordenador

Resumen

La realidad virtual es una tecnología cada día más accesible con un gran potencial en su uso para entrenamiento de emergencias, particularmente para profesionales como bomberos, militares, y personal sanitario, los cuáles a veces enfrentan situaciones estresantes. Sin embargo, es muy posible que muchos de estos profesionales no tengan experiencia con la realidad virtual. Esto dificulta la integración de esta tecnología en sus procesos de entrenamiento. Este efecto puede suponer dificultades en el aprendizaje y la actuación efectiva en entornos virtuales. Por ello, varios estudios sugieren el uso de tutoriales para que los usuarios se familiaricen con el entorno virtual y así mejorar su desempeño. Se han propuesto una metodología y un modelo de representación de objetivos de aprendizaje, basado en técnicas de tutorial interactivo, para enseñar a los usuarios a interactuar con los elementos de una emergencia radiológica representada en un entorno virtual. La eficacia de este tutorial será evaluada midiendo el desempeño conseguido por el usuario en la emergencia radiológica simulada.

Keywords

Virtual reality
Virtual environment
Stress
Learning process
Detection
Radiation emergency
Human computer interaction

Abstract

Virtual reality technology is an increasingly accessible technology with great potential for use in emergency training, particularly for professionals such as firefighters, military personnel, and healthcare staff who often face stressful situations. However, many of these individuals may not have experience with virtual reality, making it difficult to integrate this technology into their training. This effect can hinder their ability to effectively learn and perform in virtual environments. To overcome this, studies have suggested using tutorials to familiarize users with the virtual environment and improve their performance. This research proposes a methodology and a formal learning objectives representation model, based on interactive tutorials to train users on how to interact with a virtual environment simulating a radiation emergency. The efficacy of this tutorial will be evaluated by measuring the performance achieved by the user in a simulated radiation emergency.

1. Introducción

Sectores que gestionan emergencias donde la salud de las personas corre peligro suelen realizar entrenamientos basados en simulaciones para mejorar los resultados del aprendizaje de sus profesionales. Estas simulaciones suelen ser llevadas a cabo en entornos donde los individuos deben acometer pasos específicos. Estos pasos suelen estar monitoreados para evaluar su proceso de aprendizaje. Las simulaciones son muy beneficiosas en escenarios de riesgo porque se pueden replicar con total seguridad situaciones que pueden conllevar consecuencias peligrosas. Los sujetos que son entrenados en este tipo de simulaciones suelen ser profesionales como militares, bomberos o personal sanitario. La efectividad del entrenamiento y la evaluación del proceso de adquisición de habilidades son cruciales en estas situaciones de riesgo donde su resultado puede ser fatal si no se maneja correctamente. Sin embargo, organizar estos entrenamientos supone costes económicos y temporales muy elevados. Esto provoca que la posibilidad de entrenar sea escasa y con ello, el proceso de aprendizaje sea en ocasiones ineficiente.

La tecnología de realidad virtual (RV) se ha vuelto muy accesible para el público general y está siendo utilizada en diversos campos. La tecnología de realidad virtual se aplica hoy en día en muchos sectores. Una de las mayores ventajas es la de reproducir situaciones en el mundo real que son difíciles de replicar o conllevan costes y riesgos grandes. Con el objetivo de crear una experiencia satisfactoria en un entorno de realidad virtual, las interacciones que el usuario puede realizar con el entorno han de ser diseñadas con mucha atención. El usuario debe poder interactuar con los elementos del entorno de una manera muy aproximada a como lo haría en el mundo real. De esta manera, podrá aplicar los conocimientos de su entrenamiento a una situación en el mundo real.

Una de las técnicas más comunes para enseñar a cómo interactuar con el entorno virtual es el uso de *tutoriales*. Los tutoriales son fases relativamente cortas donde el usuario aprende cómo interactuar con los elementos del entorno virtual a través de acciones guiadas en mayor o menor medida y sin un impacto negativo en el caso de posibles errores. Al dejar al usuario proceder con cierta libertad, podrá entender las relaciones causa-efecto que hay entre las acciones y los elementos del entorno.

Este trabajo propone el diseño de unos criterios y unas métricas para medir la efectividad de un tutorial para simulaciones en realidad virtual para emergencias radiológicas. Con ello, se busca mejorar la adaptación del usuario al nuevo entorno virtual y así poder romper la barrera que le impide el correcto aprendizaje de los protocolos de emergencia. También se propone una metodología de evaluación preliminar para medir la eficacia del tutorial.

2. Estado del arte

2.1 Entornos virtuales para el entrenamiento

Diversos estudios evidencian que el proceso de aprendizaje puede ser mejorado, en varios escenarios, con el uso de RV (Freina & Ott, 2015; Kaplan et al., 2021; Kavanagh et al., 2017; Reznick et al., 2002; Ruesseler et al., 2010). Como herramienta de experimentación, los entornos virtuales permiten un control muy detallado de las acciones que pueden realizar los estudiantes, haciendo posible el análisis de su desempeño y una potencial mejora en los resultados de su aprendizaje.

Desde 2010, el uso de sistemas de realidad virtual para obtener un entrenamiento eficaz ha tenido un gran auge como comenta Radhakrishnan et al. (Radhakrishnan et al., 2021). Según sus estudios el uso de realidad virtual parece ser efectivo en el entrenamiento para habilidades en el sector industrial. Los cuerpos militares llevan bastantes años haciendo uso de esta tecnología para sus entrenamientos (Lele, 2013). También se pueden encontrar progresos en el sector de la minería (Gürer et al., 2023), de la salud (Sakowitz et al., 2020) e incluso en situaciones de emergencias (Engelbrecht et al., 2019; Villar Rubio & León, 2023). Esto es posible gracias a los avances en esta tecnología. Esta evolución ha permitido que los usuarios sientan un nivel de inmersión suficientemente alto como para poder realizar un correcto entrenamiento (Narciso et al., 2020). Lo cual conlleva también una perturbación en el estado fisiológico de los participantes. Estado similar al que se consigue con los entrenamientos reales (Clifford et al., 2019).

Sin embargo, se observa que los usuarios no suelen estar adaptados a la tecnología de RV y la adaptación a este tipo de interacción puede llevar potencialmente a sobrecargas cognitivas debido a la inexperiencia usando *Head Mounted Displays* (HMD) o sistemas de RV similares (Wu et al., 2013). Esta carga cognitiva extra puede limitar el proceso de aprendizaje de los usuarios como puntualiza (Huang, 2020). Además, esto también supone un problema de usabilidad (Bevan et al., 1991) en la experiencia de usuario, que también puede conllevar a que el entrenamiento no se haga correctamente (Checa et al., 2021) o incluso obtenga peores resultados que métodos tradicionales (Gavish et al., 2015). La adaptación a esta tecnología es un problema general. Empresas como Meta¹ y Steam² buscan mejorar la usabilidad de sus productos con un tutorial inicial. Sin embargo, estos tutoriales son genéricos y susceptibles a modificaciones en base a las

¹ Primeros pasos de Meta: <https://www.meta.com/es-es/experiences/1863547050392688/>, accedido el 04/10/2023

² SteamVR: <https://store.steampowered.com/app/250820/SteamVR/?l=english>, accedido el 04/10/2023

necesidades de la aplicación que se vaya a usar. Esto lleva a que videojuegos comerciales como Skyrim VR (Bethesda Softworks, 2017), Beat Saber (Beat Games, 2019) o Windlands 2 (Psytec Games Ltd, 2018) tengan que crear sus propios tutoriales. Este problema también se observa en la ciencia. Estudios con realidad virtual han desarrollado tutoriales genéricos (Miguel-Alonso et al., 2023) o específicos previos para enseñar a sus usuarios a interactuar con el entorno (Bhargava et al., 2018; Kleven et al., 2014; Makransky et al., 2019). La adaptación no es el único problema por el que se necesita aplicar técnicas de tutorización. La complejidad de los entornos también es importante (Andersen et al., 2012). Teniendo en cuenta la complejidad que supone actuar ante situaciones de riesgo, se considera necesaria la implementación de dichos tutoriales.

2.2 Tutoriales en aplicaciones de realidad virtual

Como se ha comentado, la realidad virtual es una herramienta muy potente para el entrenamiento de personal profesional. Sin embargo, la usabilidad y la complejidad de los conceptos hacen necesaria la aplicación de algunas técnicas para mejorar el aprendizaje. Estas técnicas se pueden extraer de los tutoriales. Los cuales en su mayoría proceden del mundo del videojuego. Los tutoriales influyen de manera positiva en el desempeño en un escenario virtual. Particularmente, son conocidos por su efectividad en la realidad virtual (Kao et al., 2021). Estudios previos usan los tutoriales como introducción para los usuarios al mundo virtual y para ganar familiaridad con los dispositivos de interacción y sus funcionalidades reduciendo así el efecto novedad (Bhargava et al., 2018; Fussell et al., 2019; Shewaga et al., 2020).

Es importante comprender cómo se le muestra la información al usuario. Frommel et al. (Frommel et al., 2017) dan importancia a que dicha información debe ser *sensibles al contexto*. Esto quiere decir que el tutorial debe formar parte de la experiencia. La información que proporcione tiene que estar relacionada con la tarea actual para no perder inmersión. Green et al. (Green et al., 2017) proponen la existencia de 3 tipos de tutoriales. Estos se basan en (1) instrucciones que guían al usuario paso a paso, (2) ejemplos presentación de consecuencias y (3) en experiencias diseñadas cuidadosamente para dar libertad total al usuario para que practique. Kao et al. (Kao et al., 2021) mencionan que el mayor porcentaje de tutoriales presentan la información de forma textual. Es la que peores resultados obtiene, pero es la más común en todas las aplicaciones. La *Multimedia Learning Theory of Mayer* (Mayer, 2014) proporciona un listado de 12 principios que se pueden utilizar para favorecer el aprendizaje de aplicaciones de escritorio. Algunos de los más importantes son, el *principio de coherencia* que dice que todo material irrelevante debe ser evitado. El *principio de personalización* donde la información debe aparecer usando narrativa informal. El *principio de la señalización* que comenta la importante de destacar aquellos materiales importantes. Los tutoriales también pueden

incorporar indicadores para que el usuario sepa su siguiente tarea. Para ello, las notificaciones en el *head-up display* parecen ser las más efectivas. Son muy intrusivas, pero siempre son detectadas por el usuario. Algo muy importante a tener en cuenta si se busca que el usuario cumpla tareas específicas. Otra manera de que el usuario no se pierda es poner indicadores visuales (Dillman et al., 2018). Estos indicadores le ayudarán a saber con qué objetos debe interactuar o hacia dónde tiene que ir.

Entrenar a los profesionales en el uso de la realidad virtual puede suponer un coste similar a su entrenamiento en escenarios de emergencia. Cómo interactuar con los dispositivos y el entorno, entender las limitaciones de espacio, o identificar los principales puntos de interés suponen un desafío que aumenta el espacio que hay entre los potenciales beneficios del uso de RV y su aplicación. Los problemas específicos tienen diversas particularidades. Basándose en esto, un conjunto de pautas para crear tutoriales serán propuestas en relación con los resultados obtenidos por (Miguel-Alonso et al., 2023). Esta contextualización se centrará especialmente en las características específicas añadidas para el personal implicado y las dificultades típicas a las que suelen encontrar.

3. Particularidades del entrenamiento en emergencias radiológicas

Como caso de estudio, el tutorial propuesto en este trabajo busca mejorar la experiencia y el proceso de aprendizaje en un entorno de entrenamiento controlado para emergencias radiológicas. El objetivo de este tutorial es minimizar los desafíos que estos profesionales en ocasiones deben enfrentar cuando usan realidad virtual, ya que los intervinientes (bomberos, policía, sanitarios) no tienen, en general, formación específica para el uso de estas herramientas. Por ejemplo, el escenario contempla problemas como no saber cómo medir correctamente la dosis de radiación por no comprender cómo se interactúa con los elementos del entorno.

Como se ha comentado anteriormente, entrenar a profesionales es un proceso económico costoso y reducir este coste es uno de los objetivos de los entrenamientos basados en simulaciones. Esto se consigue con un desarrollo de escenarios a los que poder acceder fácilmente y una gran reproducibilidad. Por lo tanto, la creación de tutoriales está en línea con los objetivos generales. Esto significa que los profesionales entrenados deben poder adquirir las habilidades requeridas con el menor número de sesiones posibles. Mientras que el tutorial debe abordar los mecanismos de interacción básica de la realidad virtual, se puede beneficiar de la combinación con los procedimientos básicos y reacciones correctas ante emergencias.

En las simulaciones de emergencias radiológicas, el usuario debe actuar ante una situación donde puede haber elementos radiactivos. Además, la simulación contiene diversos desafíos

externos al tutorial que el usuario debe afrontar. Una vez que el proceso de entrenamiento haya empezado, el usuario debe reaccionar de la manera más apropiada en base al entrenamiento previo teórico. Este entrenamiento teórico es común, pero en muchos casos no se lleva a cabo.

En este punto, el conjunto mínimo de acciones es complejo. El usuario debe adquirir información sobre el suceso hablando con las personas involucradas. Otro aspecto por considerar es la interpretación de la información proporcionada por los detectores de radiación. El usuario debe aprender a usar estos detectores, interpretar su información y detectar la fuente emisora de radiación. La vestimenta también es un factor importante. Con la información adquirida, el participante debe ser consciente del riesgo y la vestimenta que debe usar en cada situación. Adicionalmente, hay escenarios donde el usuario debe utilizar ciertos objetos de maneras específicas, como el uso de conos de tráfico para accidentes en carretera.



Figura 1. Representación del uso del teletransporte para realizar el movimiento en el escenario. Arriba a la izquierda se puede observar un usuario usando la RV en una sala limitada por paredes, mientras que abajo a la derecha se observa el entorno virtual que tiene lugar en las inmediaciones de un poblado

Estos desafíos requieren diversas acciones específicas, las cuales corresponden con cada uno de los desafíos en el objetivo del aprendizaje. Las acciones que el usuario debe aprender son:

- *Configuración del sistema de realidad virtual.* Antes de iniciar el proceso de entrenamiento con realidad virtual, el usuario debe configurar el dispositivo. Esta configuración puede variar dependiendo del propio sistema. Algunas de las configuraciones son: cómo especificar el espacio real disponible, cómo colocar correctamente el casco de realidad virtual, cómo enfocar la vista, o cómo coger los controladores, entre otros.
- *Uso de controladores.* En la mayoría de los casos, cada sistema de realidad virtual tiene controladores específicos. El usuario debe familiarizarse con ellos para poder interactuar con el entorno. Por ejemplo, el usuario puede usar guantes hápticos para mejorar el realismo y la inmersión.
- *Evitar sensación de malestar.* Las personas que no están familiarizadas con esta tecnología suelen experimentar sensaciones de malestar (Saredakis

et al., 2020). Los tutoriales, como experiencias iniciales, deben definir interacciones que reduzcan la probabilidad de malestar en aquellos usuarios no entrenados.

- *Conocer los límites de la realidad virtual.* La realidad virtual es una tecnología perfecta para desarrollar experiencias que no pueden ser experimentadas en el mundo real. Sin embargo, tiene ciertas limitaciones. El espacio necesario, las interacciones tan complejas, o la libertad de movimiento son algunas de ellas. Es importante que el usuario conozca las limitaciones. De esta manera, podrá entender por qué no puede realizar ciertas acciones que sí puede en la vida real. Por ejemplo, en la aplicación, los usuarios se moverán usando teletransportes debido a que el espacio del que disponen en la vida real es limitado en comparación con el entorno virtual.
- *Detección de elementos interactivables.* Como en la vida real, el usuario debe saber cuáles son los elementos con los que puede interactuar y cuáles no. Con el objetivo de manipular un detector de radiación sin entrenamiento previo, el usuario debe poder intuir que es un elemento que puede coger y que puede tener cierto uso.
- *Interacción de elementos de maneras específicas.* Algunos elementos suponen interacciones muy complejas. Hay objetos que además de poder ser cogidos, pueden usarse para realizar ciertas acciones. El uso de detectores de radiación ha sido mencionado, pero abrir puertas o iniciar conversaciones con personas también son algunos ejemplos de interacciones.
- *Uso de elementos en lugares específicos.* Por ejemplo, los conos de tráfico pueden ser posicionados en lugares específicos para detener el tráfico.
- *Gestión de personas.* En las emergencias se pueden encontrar testigos, personas heridas, o estresadas. El usuario debe aprender a gestionar este tipo de situaciones.
- *Aplicación de protocolos.* Los tipos de protocolos están relacionados con la emergencia en específico. Esto también conlleva la posibilidad de que diversos tipos de profesionales acudan a la actuación. Es importante conocer estos protocolos para poder actuar correctamente.
- *Movimiento libre por el entorno.* Las limitaciones físicas de espacio en el mundo real impiden que el movimiento sea completamente libre. Por ejemplo, las sesiones de realidad virtual necesitan ser realizadas en habitaciones de tamaño limitado mientras que el entorno virtual puede representar una ciudad completa. En estos casos, el usuario necesita

alguna manera de navegar por ese entorno tan inmenso. El desafío consiste en enseñar a los usuarios cómo realizar este movimiento a través del teletransporte (ver Figura 1). La solución a este problema es el uso del teletransporte (Bozgeyikli et al., 2016).

El tutorial propuesto será diseñado para mitigar el efecto de los desafíos listados. De esta manera, se espera que el usuario haya adquirido las habilidades mínimas para interactuar y pueda enfocarse exclusivamente en el proceso de entrenamiento para la respuesta ante emergencias radiológicas.

4. Tutorial en realidad virtual para una adquisición efectiva de habilidades

El diseño propuesto para el tutorial se enfoca en entrenar a profesionales en cómo actuar en situaciones de emergencia radiológicas. Estos profesionales conforman un conjunto diverso que incluye bomberos, personal sanitario, policías o militares. Estas personas están acostumbradas a un tipo diferente de modalidad de interacción que puede entrar en conflicto con las diferencias presentadas por la realidad virtual. Necesitan aprender cómo interactuar con un entorno que es similar al mundo real pero que requiere un enfoque diferente. La intrusión del casco de realidad virtual es un problema adicional, ya que no han tenido que utilizar este tipo de dispositivos con cable durante su formación y trabajo. Dado que la mayoría de estas personas no ha utilizado previamente tecnología de realidad virtual, un tutorial es esencial para que se familiaricen con ella.

Por lo tanto, teniendo en cuenta las características de los sujetos y los desafíos del entorno virtual, se proponen las siguientes pautas para la implementación del tutorial:

1. *Introducción a la aplicación y a la situación de emergencia.* Para muchos de los entrenados, el tutorial implica el primer contacto con la realidad virtual. El usuario debe recibir instrucciones sobre cómo configurar el dispositivo a sus necesidades. Una vez el usuario puede ver el entorno virtual e interactuar con él, podrá ver información sobre la aplicación.
2. *Interacciones simples con elementos.* El usuario debe aprender a interactuar con los elementos de una manera simple. Por ejemplo, coger o soltar objetos. Al principio, los objetos deben ser simples y a medida que el usuario vaya avanzando, se le presentará objetos más específicos. Por ejemplo, al inicio el usuario verá cajas de cartón y posteriormente podrá ver conos de tráfico o detectores de radiación.
3. *Interacciones complejas, uso de objetos y conversaciones con personajes.* Existen elementos con los que la interacción puede llegar a ser más

compleja. Abrir puertas o activar botones y palancas son algunas de las acciones. Después, se le mostrará que existen objetos que pueden ser usados para determinadas tareas. Como el detector de radiación para medir la dosis de radiación de un elemento. En la experiencia también existen elementos con los que se puede interactuar con no son objetos. El usuario puede tener conversaciones con personas. Al acercarse y mirarlos, el personaje empezará a hablar automáticamente.

4. *Interacción con la interfaz.* En determinados momentos es posible que el usuario necesite interactuar con botones o paneles de las interfaces. Por ejemplo, para que el usuario pueda obtener información sobre cómo interactuar con un objeto, podrá acceder a un menú y navegar por él.
5. *Movimiento libre.* Como se ha mencionado, la realidad virtual tiene limitaciones de espacio, especialmente si el dispositivo tiene una conexión por cable. Esta mecánica no es trivial ya que el teletransporte no se puede realizar en la vida real y el usuario no imagina que pueda hacerlo en el mundo virtual.
6. *Interacción completa y libre.* Es importante tener en mente siempre que el usuario debe poder interactuar libremente con los elementos que vea por el entorno. De esta manera, ira aprendiendo lo que es de su interés en cada momento.
7. *Learning by doing.* Finalmente, el usuario debe enfrentar una situación de emergencia. El usuario debe poner en práctica lo que ha ido aprendiendo a través del tutorial.

Las pautas mencionadas aparecen listadas, pero no tiene que seguir dicho orden necesariamente. El tutorial que se propone debe ser *sensible al contexto* y debe buscar la libertad total del usuario. Por ello, el usuario recibirá la información en el orden que las vaya necesitando. Un orden de ejemplo sería: (1) introducción a la herramienta RV, (2) moverse usando el teletransporte, (3) coger y soltar objetos del entorno, (4) interactuar con la interfaz con explicaciones bajo demanda, (5) hablar con personajes, y (6) usar conos de tráfico y detectores de radiación.

5. Modelo de tutorial de interacciones basado en objetivos de aprendizaje

En la metodología de creación de tutoriales para adquisición de competencias de interacción, proponemos un proceso desde los objetivos de aprendizaje a los elementos concretos del tutorial. Estos objetivos concretos están basados en los resultados obtenidos por (Miguel-Alonso et al., 2023) y los protocolos de

actuación³ ante las emergencias radiológicas. Por ejemplo, cortar el tráfico, medir la radiación del entorno o recabar información hablando con testigos. Para poder completar estos objetivos y llevar a cabo una correcta ejecución de los protocolos, es importante realizar ciertas operaciones con los elementos del entorno. El tutorial busca que el usuario aprenda a realizar este tipo de interacciones. Se propone un modelo con:

- *Objetivos de aprendizaje (S)*. Tareas que el usuario debe aprender para completar una emergencia de una manera correcta (ver ejemplo en Tabla 1).
- *Acciones (A)*. Interacciones que puede realizar el usuario con los elementos del entorno con el objetivo de cumplir ciertas tareas (ver ejemplo en Tabla 2). Si el usuario realiza unas acciones determinadas y en un orden concreto, conseguirá completar los objetivos.
- *Elementos del tutorial (T)*. Funcionalidades y explicaciones internas del tutorial que permiten al usuario tener un aprendizaje sobre la herramienta y el entorno virtual (ver ejemplo en Tabla 3).

Tabla 1. Ejemplo de lista de objetivos de aprendizaje que se busca enseñar

Identificador	Objetivo de aprendizaje
S ₁	Saber moverse por el entorno real y virtual
S ₂	Saber qué elementos del entorno son interactivables y tienen un uso real
S ₃	Saber recoger información del suceso
S ₄	Saber medir la radiación del entorno y de elementos
S ₅	Saber informar del suceso a la oficina central
S ₆	Saber cortar el tráfico
S ₇	Saber acordonar la zona
S ₈	Saber poner a salvo a las personas implicadas
S ₉	Saber utilizar la vestimenta correspondiente en base a la radiación del entorno
S ₁₀	Saber salvaguardar los elementos emisores de radiación
S ₁₁	Saber pedir ayuda bajo demanda

Tabla 2. Ejemplo de acciones que el usuario puede realizar con los elementos del entorno para poder completar las operaciones

Identificador	Acciones
A ₁	Teletransportarse por el mundo
A ₂	Abrir puerta del furgón especializado
A ₃	Coger cono de tráfico
A ₄	Coger detector de radiación
A ₅	Coger vestimenta
A ₆	Coger postes para acordonar la zona
A ₇	Coger cordón policial
A ₈	Poner cono de tráfico en la carretera
A ₉	Acercar detector de radiación
A ₁₀	Vestir el traje, mascarilla y guantes anti radiación
A ₁₁	Poner postes para acordonar la zona
A ₁₂	Atar cordón policial a los postes
A ₁₃	Hablar con los testigos del suceso
A ₁₄	Hablar con las personas involucradas en la emergencia
A ₁₅	Poner a salvo a las personas implicadas
A ₁₆	Coger walkie-talkie
A ₁₇	Usar walkie-talkie para informar a la central
A ₁₈	Coger pinzas para recoger elementos
A ₁₉	Coger objetos usando las pinzas
A ₂₀	Coger caja anti radiación
A ₂₁	Guardar elementos emisores de radiación en la caja
A ₂₂	Interactuar con panel de información

Tabla 3. Ejemplo de elementos del tutorial con los que se busca enseñar a los usuarios a interactuar con los elementos del entorno y a comprender sus funcionalidades

Identificador	Elementos del tutorial
T ₁	Movimiento en la vida real
T ₂	Movimiento en el mundo virtual con teletransporte
T ₃	Límites del movimiento en la vida real
T ₄	Límites de movimiento en el teletransporte
T ₅	Detección de elementos interactivables
T ₆	Coger y soltar objetos
T ₇	Uso específico de los objetos
T ₈	Iniciar y finalizar conversaciones
T ₉	Interacciones específicas con personajes
T ₁₀	Abrir y cerrar las interfaces de usuario
T ₁₁	Interactuar con los elementos de las interfaces

³ Planes de Emergencia Radiológica Interior decretados por el Consejo de Seguridad Nuclear: <https://www.csn.es/planes-de-emergencia/radiologico-interior-pei> accedido el 29/11/2023

Por ejemplo, si tuviéramos el objetivo de aprendizaje S₁ (saber medir la radiación del entorno), tendríamos que para poder completar S₁ hay que realizar las acciones A₁, coger los detectores de radiación del furgón especializado, y A₂, usar el detector de radiación en personas. Para poder aprender a realizar estas acciones, el tutorial propone T₅, detectar objetos interactivables, y T₆, para coger elementos. En algunas ocasiones estos objetivos de aprendizaje no tienen acciones. Algunos de estos se aprenden directamente con los elementos del tutorial propuesto. Así, por ejemplo, para los objetivos de aprendizaje, operaciones, acciones y elementos listados, obtendríamos las relaciones dispuestas en Tabla 4:

Tabla 4. Ejemplo de relación entre los objetivos de aprendizaje, las acciones y los elementos que propone el tutorial para un correcto aprendizaje

Objetivos de aprendizaje	Acciones	Elementos del tutorial
S ₁	-	T ₁ , T ₂ , T ₃ , T ₄
S ₂	-	T ₅
S ₃	A ₁ , A ₂ , A ₄ , A ₉ , A ₁₃ , A ₁₄	T ₁ – T ₈
S ₄	A ₂ , A ₄ , A ₉	T ₅ , T ₆ , T ₇
S ₅	A ₂ , A ₁₆ , A ₁₇	T ₅ , T ₆ , T ₇
S ₆	A ₁ , A ₂ , A ₃ , A ₈	T ₁ – T ₇
S ₇	A ₁ , A ₂ , A ₆ , A ₇ , A ₁₁ , A ₁₂	T ₁ – T ₇
S ₈	A ₁ , A ₁₅	T ₁ , T ₂ , T ₃ , T ₄ , T ₈ , T ₉
S ₉	A ₂ , A ₅	T ₅ , T ₆ , T ₇
S ₁₀	A ₂ , A ₁₀ , A ₁₈ , A ₁₉ , A ₂₀ , A ₂₁	T ₅ , T ₆ , T ₇
S ₁₁	A ₂₂	T ₁₀ , T ₁₁

6. Experimento propuesto

Siguiendo este modelo y esta metodología, se propone un experimento para analizar el correcto desempeño en el ejercicio y la opinión sobre la usabilidad de la herramienta. Para ello, se contará con dos grupos de participantes para probar la efectividad del tutorial. La simulación será diseñada para bomberos, policías y otros profesionales involucrados en emergencias radiológicas, por ello, se espera que los participantes sean profesionales de estos sectores. El primer grupo recibirá entrenamiento a través del tutorial propuesto en este estudio, mientras que el segundo grupo no pasará por el proceso de tutorización. Posteriormente, ambos grupos participarán en la emergencia desarrollada en realidad virtual para detectar las diferencias de sus acciones. Durante el experimento, se recogerán datos sobre las interacciones y acciones llevadas a cabo por los integrantes de cada grupo durante la sesión. Se compararán los resultados de ambos

grupos y se analizarán cualitativa y cuantitativamente. Esto permitirá observar si los datos apoyan la hipótesis de que el tutorial tiene un impacto positivo en el uso de realidad virtual. Además, los usuarios deberán completar un cuestionario sobre la inmersión y la usabilidad de la aplicación. Así se analizará si la experiencia de usuario mejora durante el entrenamiento si se ha pasado por un proceso de tutorización previo.

Mientras que el grupo principal del experimento serán profesionales, es importante probar la efectividad del tutorial en usuarios que no suelen verse involucrados en estas emergencias. Otro aspecto que se tendrá en cuenta de los participantes es si han usado previamente realidad virtual. Esto permitirá analizar los resultados finales en base al conocimiento previo sobre esta tecnología. Independientemente de sus habilidades, se espera que el grupo que recibirá entrenamiento con el tutorial obtenga mejores resultados.

7. Métricas para analizar el desempeño de los usuarios

El análisis desempeño del usuario en la ejecución de las tareas permitirá comprender la eficacia del tutorial planteado. Existen varios sistemas de métricas para analizar el desempeño de los usuarios (Kavanagh et al.). En base a estas, se han definido las siguientes para el modelo propuesto:

- *Tiempo de actuación.* En una situación de emergencia es importante ser rápido para evitar posibles accidentes. Medir el tiempo que tarda el usuario en completar las tareas propuestas en el escenario es importante para conocer si el usuario es eficiente en su trabajo.
- *Radiación recibida.* Existen límites de radiación recibida que el ser humano no puede alcanzar. De ser así, podría provocar daños irreparables en su cuerpo. El usuario debe medir constantemente la radiación del entorno y la radiación acumulada para evitar estos problemas. Conocer la radiación recibida durante la simulación ayudará a saber si el usuario ha sido consciente del tiempo de exposición que ha estado ante dicho elemento radiactivo.
- *Objetivos completados.* Los protocolos de actuación se pueden resumir como un listado de objetivos que pueden variar dependiendo del momento. Se evaluará si el usuario ha podido completar todos los objetivos propuestos en el entorno controlado.
- *Interacciones realizadas.* Esta propuesta se centra en el aprendizaje de las interacciones que puede realizar el usuario con el entorno. Esto es importante para que pueda ser eficiente durante la ejecución de las tareas. Por ello, se estudiará las interacciones que realiza con los elementos y qué relación existe con los objetivos realizados y el tiempo de actuación.
- *Eficiencia en el desplazamiento.* Uno de los objetivos de la tutorización es explicar el desplazamiento a

través de teletransporte. El uso eficiente del teletransporte permitirá al usuario ir directamente a aquellos puntos de interés sin realizar desplazamientos innecesarios.

Estas métricas se pueden estudiar de maneras independientes. Sin embargo, es importante realizar un análisis de estas teniendo en consideración las demás. Con ello, se podrán hacer comparativas entre aquellos grupos que componen el experimento y estudiar la diferencia de resultados entre aquellos usuarios que han sido entrenados con el tutorial y aquellos que no. El tiempo que tarda un usuario en completar cada objetivo indica el tiempo que le toma al usuario llevar a cabo una acción. Las acciones están compuestas de interacciones y desplazamientos que también indicarán la eficiencia en la resolución del problema. El tutorial propuesto se centra en estas dos últimas. Observando las interacciones realizadas con cada objeto y por cada tarea, permitirá conocer si el usuario ha comprendido la interacción con dichos elementos. Por otro lado, el análisis del desplazamiento, tanto distancia recorrida en metros como número de teletransportes, permitirá saber si el usuario comprende cuáles son sus objetivos.

8. Conclusiones y trabajo futuro

La realidad virtual es una tecnología que permite a profesionales entrenar con un coste económico inferior a las simulaciones tradicionales que se realizan con este propósito. Sin embargo, la falta de familiaridad con esta tecnología dificulta el proceso de aprendizaje. Las pautas propuestas para la creación de un tutorial buscan solucionar este problema

ayudando a los profesionales a entender y aprender a cómo usar la tecnología de realidad virtual de una manera efectiva, al mismo tiempo que se les introduce a la gestión de emergencias radiológicas. El objetivo es enseñar los mecanismos de interacción y evitar que sea una barrera para el entrenamiento con realidad virtual permitiendo que se puedan centrar exclusivamente en el aprendizaje y la adquisición de habilidades.

Una vez implementado, la efectividad del tutorial será probada con un experimento comparativo. Además, los resultados obtenidos sobre usuarios familiarizados con esta tecnología serán comparados con aquellos datos obtenidos del público objetivo. Esto ayudará a determinar el nivel inicial que tiene el público objetivo con esta tecnología y el impacto de enseñarles determinadas habilidades.

Es importante destacar que las situaciones emergencias suelen involucrar a más de un perfil profesional. Esto incrementa el número de elementos e interacciones que se pueden realizar con estos objetos específicos de cada profesión. Por ello, se debe diseñar y probar la eficacia de tutoriales específicos para cada perfil profesional. De todas formas, se espera que las pautas citadas puedan ser aplicadas para todos los casos. En este sentido, estas experiencias virtuales que involucran múltiples usuarios al mismo tiempo requerirán una revisión de las directrices nombradas para tener en cuenta diversos aspectos como la interacción entre usuarios o los conflictos entre las acciones de los mismos.

Referencias

- Andersen, E., O'Rourke, E., Liu, Y.-E., Snider, R., Lowdermilk, J., Truong, D., Cooper, S., & Popovic, Z. (2012). The impact of tutorials on games of varying complexity. *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, 59-68. <https://doi.org/10.1145/2207676.2207687>
- Bhargava, A., Bertrand, J. W., Gramopadhye, A. K., Madathil, K. C., & Babu, S. V. (2018). Evaluating Multiple Levels of an Interaction Fidelity Continuum on Performance and Learning in Near-Field Training Simulations. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, 24(4), 1418-1427. <https://doi.org/10.1109/TVCG.2018.2794639>
- Bozgeyikli, E., Rajj, A., Katkooi, S., & Dubey, R. (2016). Point & Teleport Locomotion Technique for Virtual Reality. *Proceedings of the 2016 Annual Symposium on Computer-Human Interaction in Play*, 205-216. <https://doi.org/10.1145/2967934.2968105>
- Checa, D., Miguel-Alonso, I., & Bustillo, A. (2021). Immersive virtual-reality computer-assembly serious game to enhance autonomous learning. *Virtual reality*, 1-18.
- Clifford, R. M. S., Jung, S., Hoermann, S., Billingham, M., & Lindeman, R. W. (2019). Creating a Stressful Decision Making Environment for Aerial Firefighter Training in Virtual Reality. *2019 IEEE Conference on Virtual Reality and 3D User Interfaces (VR)*, 181-189. <https://doi.org/10.1109/VR.2019.8797889>
- Dillman, K. R., Mok, T. T. H., Tang, A., Oehlberg, L., & Mitchell, A. (2018). A Visual Interaction Cue Framework from Video Game Environments for Augmented Reality. *Proceedings of the 2018 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, 1-12. <https://doi.org/10.1145/3173574.3173714>
- Engelbrecht, H., Lindeman, R. W., & Hoermann, S. (2019). A SWOT Analysis of the Field of Virtual Reality for Firefighter Training. *Frontiers in Robotics and AI*, 6. <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/frobt.2019.00101>
- Freina, L., & Ott, M. (2015). A literature review on immersive virtual reality in education: State of the art and perspectives. *The international scientific conference elearning and software for education*, 1(133), 10-1007.
- Frommel, J., Fahlbusch, K., Brich, J., & Weber, M. (2017). The Effects of Context-Sensitive Tutorials in Virtual Reality Games. *Proceedings of the*

Annual Symposium on Computer-Human Interaction in Play, 367-375. <https://doi.org/10.1145/3116595.3116610>

- Fussell, S. G., Derby, J. L., Smith, J. K., Shelstad, W. J., Benedict, J. D., Chaparro, B. S., Thomas, R., & Dattel, A. R. (2019). Usability Testing of a Virtual Reality Tutorial. *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting*, 63(1), 2303-2307. <https://doi.org/10.1177/1071181319631494>
- Gavish, N., Gutiérrez, T., Webel, S., Rodríguez, J., Peveri, M., Bockholt, U., & Tecchia, F. (2015). Evaluating virtual reality and augmented reality training for industrial maintenance and assembly tasks. *Interactive Learning Environments*, 23(6), 778-798. <https://doi.org/10.1080/10494820.2013.815221>
- Green, M., Khalifa, A., Barros, G., & Togellius, J. (2017). «Press Space to Fire»: Automatic Video Game Tutorial Generation. *Proceedings of the AAAI Conference on Artificial Intelligence and Interactive Digital Entertainment*, 13(2), Article 2. <https://doi.org/10.1609/aiide.v13i2.12977>
- Gürer, S., Surer, E., & Erkyayaoglu, M. (2023). MINING-VIRTUAL: A comprehensive virtual reality-based serious game for occupational health and safety training in underground mines. *Safety Science*, 166, 106226. <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2023.106226>
- Huang, W. (2020). Investigating the novelty effect in virtual reality on stem learning.
- Kao, D., Magana, A. J., & Mousas, C. (2021). Evaluating Tutorial-Based Instructions for Controllers in Virtual Reality Games. *Proceedings of the ACM on Human-Computer Interaction*, 5(CHI PLAY), 234:1-234:28. <https://doi.org/10.1145/3474661>
- Kaplan, A. D., Cruitt, J., Endsley, M., Beers, S. M., Sawyer, B. D., & Hancock, P. A. (2021). The effects of virtual reality, augmented reality, and mixed reality as training enhancement methods: A meta-analysis. *Human factors*, 63(4), 706-726.
- Kavanagh, S., Luxton-Reilly, A., Wuensche, B., & Plimmer, B. (2017). A systematic review of virtual reality in education. *Themes in Science and Technology Education*, 10(2), 85-119.
- Kleven, N. F., Prasolova-Förland, E., Fominykh, M., Hansen, A., Rasmussen, G., Sagberg, L. M., & Lindseth, F. (2014). Training nurses and educating the public using a virtual operating room with Oculus Rift. *2014 International Conference on Virtual Systems & Multimedia (VSMM)*, 206-213. <https://doi.org/10.1109/VSMM.2014.7136687>
- Lele, A. (2013). Virtual reality and its military utility. *Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing*, 4(1), 17-26. <https://doi.org/10.1007/s12652-011-0052-4>
- Makransky, G., Terkildsen, T. S., & Mayer, R. E. (2019). Adding immersive virtual reality to a science lab simulation causes more presence but less learning. *Learning and Instruction*, 60, 225-236. <https://doi.org/10.1016/j.learninstruc.2017.12.007>
- Mayer, R. E. (2014). Cognitive Theory of Multimedia Learning. En R. E. Mayer (Ed.), *The Cambridge Handbook of Multimedia Learning* (2.a ed., pp. 43-71). Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/CBO9781139547369.005>
- Miguel-Alonso, I., Rodriguez-Garcia, B., Checa, D., & Bustillo, A. (2023). Countering the Novelty Effect: A Tutorial for Immersive Virtual Reality Learning Environments. *Applied Sciences*, 13(1), Article 1. <https://doi.org/10.3390/app13010593>
- Narciso, D., Melo, M., Raposo, J. V., Cunha, J., & Bessa, M. (2020). Virtual reality in training: An experimental study with firefighters. *Multimedia Tools and Applications*, 79(9), 6227-6245. <https://doi.org/10.1007/s11042-019-08323-4>
- Nigel Bevan, N., Jurek Kirakowskib and Jonathan Maissel. 1991. What is usability. In *Proceedings of the 4th International Conference on HCI* (pp. 1-6)
- Radhakrishnan, U., Koumaditis, K., & Chinello, F. (2021). A systematic review of immersive virtual reality for industrial skills training. *Behaviour & Information Technology*, 40(12), 1310-1339. <https://doi.org/10.1080/0144929X.2021.1954693>
- Reznek, M., Harter, P., & Krummel, T. (2002). Virtual reality and simulation: Training the future emergency physician. *Academic Emergency Medicine*, 9(1), 78-87.
- Ruesseler, M., Weinlich, M., Müller, M. P., Byhahn, C., Marzi, I., & Walcher, F. (2010). Simulation training improves ability to manage medical emergencies. *Emergency Medicine Journal*, 27(10), 734-738.
- Sakowitz, S. M., Inglehart, M. R., Ramaswamy, V., Edwards, S., Shoukri, B., Sachs, S., & Kim-Berman, H. (2020). A comparison of two-dimensional prediction tracing and a virtual reality patient methods for diagnosis and treatment planning of orthognathic cases in dental students: A randomized preliminary study. *Virtual Reality*, 24(3), 399-409. <https://doi.org/10.1007/s10055-019-00413-w>
- Saredakis, D., Szpak, A., Birkhead, B., Keage, H. A. D., Rizzo, A., & Loetscher, T. (2020). Factors Associated With Virtual Reality Sickness in Head-Mounted Displays: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Frontiers in Human Neuroscience*, 14. <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fnhum.2020.00096>
- Shewaga, R., Uribe-Quevedo, A., Kapralos, B., & Alam, F. (2020). A Comparison of Seated and Room-Scale Virtual Reality in a Serious Game for Epidural Preparation. *IEEE Transactions on Emerging Topics in Computing*, 8(1), 218-232. <https://doi.org/10.1109/TETC.2017.2746085>
- Villar Rubio, A., & León, C. (2023). User performance analysis in guided and non-guided stressful virtual reality scenarios. <https://doi.org/10.54941/ahfe1004038>
- Wu, H.-K., Lee, S. W.-Y., Chang, H.-Y., & Liang, J.-C. (2013). Current status, opportunities and challenges of augmented reality in education. *Computers & Education*, 62, 41-49. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2012.10.024>