

Realidad Virtual Inmersiva para aprender la maniobra de intubación orotraqueal

A. Muñoz-López, I. Remolar, J.D. Suarez, I. Miralles

Institute of New Imaging Technologies
Universitat Jaume I, Castellón, Spain

Abstract

El proceso de formación en prácticas médicas requiere la disponibilidad de materiales, pacientes y un ambiente adecuado para que los estudiantes se familiaricen con las herramientas y el entorno. Sin embargo, lograr esto resulta a menudo un desafío. La realidad virtual inmersiva surge como una solución prometedora para cerrar la brecha entre el conocimiento teórico y la aplicación práctica dentro de un contexto realista. Este artículo describe el proceso integral de análisis, diseño y desarrollo de un entorno virtual diseñado específicamente para la práctica de la intubación orotraqueal. Este proyecto en curso integra la investigación médica con los avances de vanguardia en la realidad extendida, con el objetivo de mejorar las oportunidades de capacitación disponibles para los estudiantes de medicina.

CCS Concepts

•Applied computing → Interactive learning environments; •Software and its engineering → Interactive games;

1. Introducción

La intubación orotraqueal (IO) es un procedimiento médico en el que se inserta un tubo en la tráquea a través de la boca para asegurar una vía aérea permeable y permitir la ventilación mecánica en pacientes que no pueden respirar adecuadamente por sí mismos. Este procedimiento se realiza en situaciones de emergencia, anestesia general o cuidados intensivos [Ore02].

Para esta maniobra, el material principal consiste en el laringoscopio y el tubo endotraqueal. En primer lugar, se hiperoxigena al paciente utilizando una bolsa-válvula-mascarilla conectada a un sistema de oxígeno. Para una intubación correcta es crucial el posicionamiento adecuado: se extiende ligeramente la cabeza del paciente con la mandíbula hacia adelante. En bebés, se recomienda una posición neutra o una almohada para el hombro para una alineación óptima. Después se procede a colocar el tubo endotraqueal. Tras realizar una correcta colocación de este, se asegura al rostro o al cuello con cinta adhesiva o un dispositivo de seguridad. [Art12]

A muchos médicos les resulta difícil realizar este procedimiento en situaciones de emergencia debido a la complejidad de practicarlo. Aunque existen técnicas alternativas de manejo de las vías respiratorias, como las vías supraglóticas, que pueden ser relativamente sencillas y requieren menos tiempo y esfuerzo para dominarlas, dependen de dispositivos específicos que no siempre están disponibles. Por lo tanto, es crucial proporcionar capacitación en intubación orotraqueal, que es el método fundamental para el manejo de las vías respiratorias [LKK*13].

El uso de maniqués para practicar la intubación orotraqueal re-

quiere tiempo para configurar el escenario, preparar el equipo, limpiar y desmontar el maniqué. El acceso a los maniqués puede ser, además, limitado debido a su disponibilidad, su tamaño voluminoso requiere un espacio adecuado para simular las condiciones reales. Debido a estas limitaciones resulta desafiante para muchos profesionales médicos entrenarse con ellos por lo que propuestas escalables, económicas y fácilmente replicables resultan un avance en el campo. La Realidad Virtual (VR) brinda una oportunidad excepcional para experimentar situaciones cercanas a la realidad en entornos 3D inmersivos y seguros. Diversos estudios han demostrado que la VR puede potenciar las habilidades técnicas y el aprendizaje práctico, siendo ideal para respaldar diferentes enfoques educativos, incluido el aprendizaje experiencial. Además, la VR ha demostrado mejorar la participación y motivación de los estudiantes, ofreciendo experiencias de aprendizaje personalizadas y facilitando el trabajo en equipo [AAKCK21, dARdSP22, RMFW20, PDHS20].

El Diseño Centrado en el Usuario (User-Centered Design, UCD) es esencial en el diseño de entornos virtuales. Se trata de un proceso iterativo que incorpora las necesidades, objetivos y preferencias de los usuarios en el diseño. El objetivo es crear diseños intuitivos, utilizables y satisfactorios. El UCD incluye etapas como investigación de usuarios, requisitos, prototipado, pruebas y evaluación. Al involucrar activamente a los usuarios en todo el proceso de diseño, se garantiza que el producto final cumpla con sus necesidades y expectativas. Este enfoque mejora la experiencia del usuario, creando productos y servicios más efectivos, eficientes y agradables de usar [Sch01].

En este artículo se presenta el diseño de una experiencia virtual para el entrenamiento en intubación orotraqueal, desarrollada siguiendo el enfoque del UCD. Esta experiencia brinda un entorno 3D inmersivo y realista, permitiendo a los estudiantes adquirir experiencia en la maniobra de forma segura. El objetivo de esta aplicación es proporcionar un entrenamiento accesible y efectivo en intubación orotraqueal, aprovechando los beneficios de la VR.

2. Estado del Arte

El uso de la VR como herramienta para la formación en el ámbito de la medicina ha tenido un crecimiento constante en la utilización de simuladores de VR, ofreciendo un entorno seguro y controlado para adquirir una experiencia valiosa. Ya en 1994, Bostrom et al. [BSW93] introdujo un simulador virtual con retroalimentación táctil para los procedimientos de punción lumbar. En 2008, Kanumuri et al. [KGW*08] comparó la efectividad de la VR y los dispositivos de entrenamiento videoscópico mejorados por computadora para tareas de parascopia complejas y encontró que ambos enfoques produjeron resultados similares. Bot et al. [BTD*08], en el mismo año, evaluó una herramienta de capacitación basada en computadora llamada virtX, diseñada para trabajar con imágenes de rayos X. Su evaluación demostró una reducción en el tiempo requerido para realizar dichas tareas utilizando esta herramienta.

Aunque en intubación orotraqueal hay escasos ejemplos recientes de entornos virtuales, Lee et al. [LKK*13] desarrollaron un sistema que combinaba un simulador virtual con tecnología háptica para el entrenamiento de la intubación orotraqueal. En el estudio [APS20], se utilizó un tutorial virtual para la enseñanza en pediatría, comparando la eficiencia de los estudiantes que interactuaron con el entorno virtual con aquellos que practicaron en maniqués. Los resultados mostraron que no hubo diferencias significativas entre el grupo experimental y el grupo de control.

En el estudio [HHB*23], se realizó una revisión sobre el uso de realidad virtual en unidades de cuidados intensivos. Se identificó un buen potencial en su aplicación, pero se señaló la necesidad de mejorar la metodología de experimentación para obtener resultados más sólidos.

En algunos estudios, como el presentado por Farber et al. [FHGH09], el entorno virtual enfatiza maniobras específicas, como la punción lumbar, demostrando que el simulador proporciona una auténtica experiencia táctil y visual en la inserción de la aguja. También se han estudiado técnicas con características similares, como la acupuntura, usando VR [CWM*07, LHSW03].

Aunque todos estos enfoques han sido ampliamente aceptados en cuanto a tecnología y han mostrado resultados prometedores, todavía se requiere más investigación en aspectos como la adherencia de los estudiantes a los sistemas, el proceso de UCD y la motivación para utilizar el sistema.

3. Materiales y Métodos

Un equipo multidisciplinar ha seguido un proceso iterativo para llevar a cabo el diseño e implementación. Dicho equipo incluye un médico con funciones de supervisor en tareas docentes y un profesor experto en el diseño y desarrollo de experiencias inmersivas

de realidad virtual. Ambos son investigadores en sus respectivos campos. El resto del equipo se compone de desarrolladores de entornos virtuales. A continuación se describen las tareas que se han realizado.

3.1. Análisis

Se realizaron varias entrevistas para establecer los requisitos del entorno virtual. Se realizó un *Focus Group* donde médicos, expertos en salud y desarrolladores definieron los siguientes pasos como requisitos funcionales

1. Ventilar al paciente con la cánula de guedel.
2. Ventilar al paciente con mascarilla ambú (Figura 1(a)). Preoxigenando al paciente durante unos 3 minutos en una parada y unos 5 minutos en la secuencia rápida de intubación.
3. Proceder a la intubación: Se quita la cánula de guedel y se introduce el laringoscopio (Figura 1(b)) hasta las cuerdas vocales.
4. Una vez las cuerdas vocales son visibles se introduce el tubo endotraqueal.
5. Cuando este ha pasado por las cuerdas vocales, se procede a retirar el laringoscopio y el fiador.
6. Inflar el neumo con 10 cm de aire.
7. Se hace uso del capnógrafo (colcándolo en el tubo endotraqueal) y se conecta el ambú (conectado a una bombona de oxígeno a 15 litros).
8. Tras esto se comprueba que la intubación está correctamente realizada y se procede a la fijación

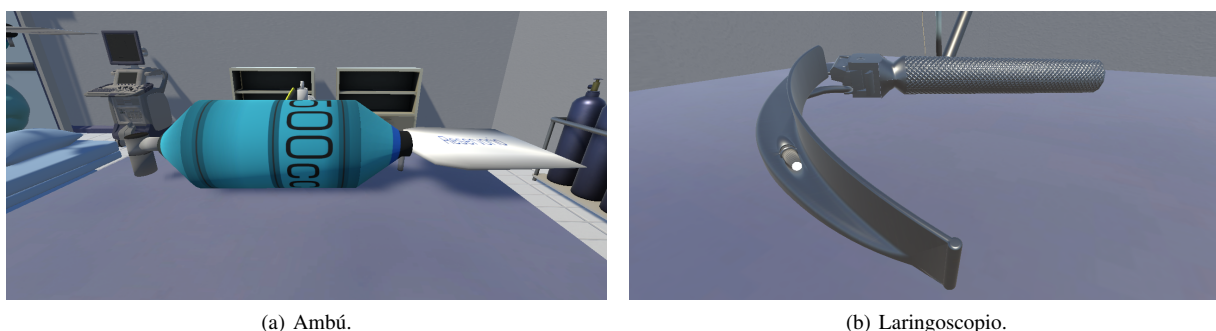
También se debe informar al usuario de que es fundamental seguir técnicas asépticas estrictas y utilizar el equipo adecuado para minimizar los riesgos. También es importante controlar los signos vitales y el estado neurológico del paciente antes, durante y después del procedimiento.

3.2. Diseño

Se empleó el enfoque UCD para el proceso de diseño, que se enfoca en comprender a fondo a los usuarios finales para satisfacer sus necesidades y validar el rendimiento del diseño del entorno virtual. Los autores colaboraron estrechamente con el Gabinete Auxiliar de Benejuzar, un centro de salud especializado en realizar la maniobra de la intubación orotraqueal, y estudiantes de medicina de diferentes facultades. Durante las reuniones con las partes involucradas, se recopilaban las necesidades de formación y los problemas del proceso de enseñanza.

El enfoque UCD se guió mediante el uso de Design Thinking (DT). DT es una metodología de resolución de problemas que implica empatizar con los usuarios, definir problemas, generar ideas de solución, crear prototipos y realizar pruebas. El desarrollo de esta experiencia tuvo en cuenta los cinco principios del DT [LG14].

El primer principio se centra en la **empatía** con los usuarios, incluyendo estudiantes, profesores y profesionales, a través de reuniones y la observación de maniobras de IO en videos. Se comprendieron los desafíos en la capacitación médica, especialmente en técnicas invasivas, que presentan limitaciones y complejidades. Se **definieron** requisitos claros para el desarrollo, enfocándose en la retroalimentación precisa del posicionamiento de la cabeza del



(a) Ambú.

(b) Laringoscopio.

Figure 1: Modelos 3D de algunos materiales utilizados en el proceso.

paciente con la mandíbula hacia adelante. Se generaron **ideas** creativas utilizando la lluvia de ideas y se crearon **prototipos** incrementales, mejorando la aplicación en cada etapa. Finalmente se **evaluó** la funcionalidad y se realizó un estudio sobre usabilidad y efectos adversos. El equipo iteró y recibió valiosos comentarios del personal médico para mejorar el prototipo.

3.3. Desarrollo

Para crear el entorno virtual de aprendizaje, se utilizó Unity 3D (versión 2020.3.29f1, compilación 256) junto con las bibliotecas Open XR para VR, incluido el Interaction XR Toolkit, para conectar el desarrollo al dispositivo Oculus Quest 2 (versión 258). Las escenas y los elementos 3D se modelaron con Blender. El desarrollo se llevó a cabo en un equipo con una CPU Intel(R) Core(TM) i7-10700F y una tarjeta gráfica Nvidia GeForce RTX 3070 Ti con 8 GB de memoria (versión 260).

La implementación del procedimiento de intubación orotraqueal incluye los pasos principales para la colocación de un tubo en la tráquea a través de la boca para asegurar una vía aérea permeable que permita la ventilación mecánica en pacientes con dificultades respiratorias. Algunos pasos como la correcta colocación del paciente, el consentimiento informado o la monitorización posterior no están incluidos en el entorno virtual: los pasos generales desarrollados son los definidos en la sección de análisis. Para clarificar los procesos a llevar a cabo en este procedimiento, antes de cada operación importante se visualiza una animación de la acción a realizar. Para distinguir esta animación del método interactivo, los componentes que intervienen, tanto las manos del usuario como los materiales, se visualizan en verde claro. Una vez finalizada la animación, el usuario practica de forma libre para conseguir un correcto desarrollo de la acción.

4. Resultados

Este trabajo se encuentra en una fase preliminar, donde el diseño y desarrollo han sido completados. Sin embargo, en este momento, está siendo evaluado por expertos para su posterior experimentación con estudiantes. Los resultados presentan el entorno virtual final, sin incluir resultados de validación o evaluación.

En esta fase del desarrollo, la aplicación no cuenta con ninguna

función de audio. El control de la aplicación se realiza exclusivamente a través de los controladores de Meta Quest 2, sin utilizar sistemas hápticos. El usuario recibe retroalimentación táctil en forma de vibración al interactuar con áreas sensibles en la aplicación.

El escenario de entrenamiento tiene lugar en un consultorio médico, donde el usuario debe realizar un procedimiento de intubación. El paciente está acostado en una camilla y una mesa cercana contiene los instrumentos necesarios. Una pantalla muestra los pasos requeridos para el procedimiento. El usuario tiene libertad para moverse e interactuar con los instrumentos. La pantalla se actualiza con mensajes a medida que se siguen los pasos correctos, mientras que los errores se resaltan y se recuerda al usuario el paso omitido. El entorno está diseñado para permitir al usuario corregir sus errores y retomar la actividad desde el punto inmediatamente anterior al error. Cuando el usuario completa todos los pasos con éxito, el sistema le felicita con información visual.

El comienzo del entrenamiento se realiza en la sala de consulta, donde se encuentra el paciente ya posicionado, a falta de abrirle las vías moviendo su cabeza. Esta es la primera acción que se debe realizar para comenzar el proceso de intubación (Figura 2).

A continuación el usuario procederá colocando la cánula de Guedel y el laringoscopio, siguiendo las indicaciones que se visualizan en el entorno virtual. Con el laringoscopio correctamente ubicado, se procede a insertar el tubo endotraqueal. Seguidamente se infla el globo de su interior utilizando una jeringuilla para tal efecto. Finalmente el usuario debe conectar la bombona de oxígeno y utilizar el ambú para proporcionar el oxígeno al paciente.

Durante todo el proceso, el usuario tiene la capacidad de explorar el escenario, examinar los instrumentos y interactuar con ellos. Además de permitir la práctica de los pasos, el sistema crea un entorno inmersivo que ayuda al alumno a familiarizarse tanto con el procedimiento como con el contexto en el que se lleva a cabo.

El usuario puede repetir la simulación cuantas veces sea necesario, revisar los pasos y corregir sus acciones. Todos los intentos realizados se registran en el perfil del usuario que realiza la simulación, lo que permite a los docentes revisar el progreso y las habilidades de los alumnos que han participado en estas prácticas virtuales.

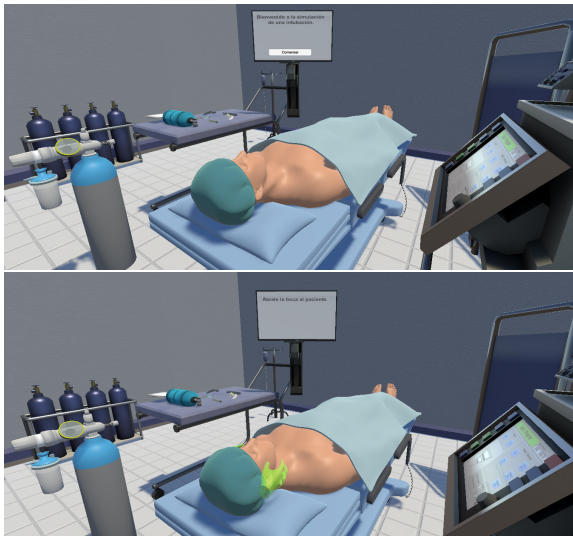


Figure 2: Entorno donde se visualiza el inicio de la experiencia virtual.

5. Conclusiones

Los métodos tradicionales de entrenamiento pueden resultar costosos o difíciles de reproducir, especialmente cuando se trata de equipos de simulación médica. La VR es una alternativa rentable y accesible para dar solución a este problema. Este artículo ha detallado el proceso de análisis, diseño y desarrollo de un entorno virtual para entrenar la maniobra de intubación orotraqueal. Es un trabajo en progreso que busca proporcionar a médicos y estudiantes una herramienta para familiarizarse con el procedimiento antes de llevarlo a cabo en la práctica real.

El entorno virtual creado ofrece un espacio seguro y controlado que replica el escenario habitual donde se realiza la intubación. Además, el entorno proporciona retroalimentación inmediata sobre la técnica, permitiendo a los estudiantes ajustar y corregir su ejecución en tiempo real.

El siguiente paso inmediato es validar el entorno descrito con usuarios médicos, comparándolo con los métodos tradicionales. Se plantea la hipótesis de que los resultados de esta comparación mostrarán una buena aceptación de la tecnología y una mejora en el aprendizaje.

Como trabajo futuro, se espera utilizar esta tecnología para adaptar otros procedimientos, como la punción lumbar o los procedimientos laparoscópicos.

Agradecimientos

Este trabajo ha sido financiado por el programa UJISABIO, que ha concedido el proyecto (UJISABIO22-AP07) "Diseño 3D y realidad virtual aplicados al aprendizaje médico en urgencias y emergencias".

References

- [AAKCK21] ARAIZA-ALBA P., KEANE T., CHEN W. S., KAUFMAN J.: Immersive virtual reality as a tool to learn problem-solving skills. *Computers & Education* 164 (2021), 104121. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360131520303195>, doi:<https://doi.org/10.1016/j.compedu.2020.104121>. 1
- [APS20] AGASTHYA N., PENFIL S., SLAMON N.: Virtual reality simulation for pediatric airway intubation readiness education. *Cureus* 12, 12 (2020). 2
- [Art12] ARTIGAS O.: La intubación endotraqueal. *Medicina intensiva* 39 (2012), 1–8. 1
- [BSW93] BOSTROM M., SINGH S. K., WILEY C. W.: Design of an interactive lumbar puncture simulator with tactile feedback. In *Proceedings of IEEE Virtual Reality Annual International Symposium* (1993), IEEE, pp. 280–286. 2
- [BTD*08] BOTT O., TEISTLER M., DUWENKAMP C., WAGNER M., MARSCHOLLEK M., PLISCHKE M., RAAB B., STÜRMER K., PRETSCHNER D., DRESING K.: Virtx–evaluation of a computer-based training system for mobile c-arm systems in trauma and orthopedic surgery. *Methods of information in medicine* 47, 03 (2008), 270–278. 2
- [CWM*07] CHENG Z., WANG H., MIN Y., YAN Z., HONG Z. T., ZHUANG T.: Preliminary study on force feedback of acupuncture in virtual reality based on the visible human. *Zhongguo yi Liao qi xie za zhi= Chinese Journal of Medical Instrumentation* 31, 1 (2007), 5–9. 2
- [dARdSP22] DOS ANJOS F. E. V., ROCHA L. A. O., DA SILVA D. O., PACHECO R.: Impacts of the application of virtual and augmented reality on teaching-learning processes in engineering courses: A systematic literature review about learning and satisfaction on students. *International Journal of Virtual and Personal Learning Environments (IJVPLE)* 12, 1 (2022), 1–19. 1
- [FHGH09] FÄRBER M., HUMMEL F., GERLOFF C., HANDELS H.: Virtual reality simulator for the training of lumbar punctures. *Methods of information in medicine* 48, 05 (2009), 493–501. 2
- [HHB*23] HILL J., HAMER O., BREED H., FORD J., TWAMLEY J., KENYON R., TWAMLEY H., CASEY R., ZHANG J., CLEGG A.: The range of uses of virtual reality for intensive care unit staff training: A narrative synthesis scoping review. *Journal of Computer Assisted Learning* (2023). 2
- [KGW*08] KANUMURI P., GANAI S., WOHAIBI E. M., BUSH R. W., GROW D. R., SEYMOUR N. E.: Virtual reality and computer-enhanced training devices equally improve laparoscopic surgical skill in novices. *JSL: Journal of the Society of Laparoscopic Surgeons* 12, 3 (2008), 219. 2
- [LG14] LEINONEN T., GAZULLA E. D.: Design thinking and collaborative learning. *Comunicar. Media Education Research Journal* 22, 1 (2014). 2
- [LHSW03] LEUNG K.-M., HENG P.-A., SUN H., WONG T.-T.: A haptic needle manipulation simulator for chinese acupuncture. *Studies in Health Technology and Informatics* (2003), 187–189. 2
- [LKK*13] LEE D. H., KIM J. G., KIM C. W., LEE C. H., LIM J. H.: The usefulness of 3-dimensional virtual simulation using haptics in training orotracheal intubation. *BioMed research international* 2013 (2013). 1, 2
- [Ore02] OREBAUGH S. L.: Difficult airway management in the emergency department. *The Journal of emergency medicine* 22, 1 (2002), 31–48. 1
- [PDHS20] PIRKER J., DENGEL A., HOLLY M., SAFIKHANI S.: Virtual reality in computer science education: A systematic review. In *VRST '20: Proceedings of the 26th ACM Symposium on Virtual Reality Software and Technology* (New York, NY, USA, 2020), VRST '20, Association for Computing Machinery. URL: <https://doi.org/10.1145/3385956.3418947>, doi:10.1145/3385956.3418947. 1

- [RMFW20] RADIANTI J., MAJCHRZAK T. A., FROMM J., WOHLGENANNT I.: A systematic review of immersive virtual reality applications for higher education: Design elements, lessons learned, and research agenda. *Computers & Education* 147 (2020), 103778. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360131519303276>, doi:<https://doi.org/10.1016/j.compedu.2019.103778>. 1
- [Sch01] SCHULZE A. N.: User-centered design for information professionals. *Journal of education for library and information science* (2001), 116–122. 1