






Virtual reality for chronic neck pain management: a serious game design

F.D. Pérez-Cano¹ , S. Saad-Roomi-Alshihmani², M.C. Osuna-Pérez³ , E. Obrero-Gaitán³ , J.J. Jiménez-Delgado²  and G. Parra-Cabrera² 

¹Department of Software Engineering, University of Granada, Granada, Spain

²Department of Computer Science, University of Jaén, Jaén, Spain

³Department of Physiotherapy, University of Jaén, Jaén, Spain

Abstract

Virtual reality has emerged as an innovative and promising therapeutic tool in the field of rehabilitation. This work presents the design and development of a tool with three interactive games, in a virtual environment, aimed at patients with chronic pain of the cervical region. Virtual environments allow the execution of therapeutic movements in a safe environment. Thereby the patients focus on the gaming experience within a controlled, motivating and recreative environment. This immersion acts as a cognitive distractor that contributes to a decrease in the fear of movement known as kinesiophobia. Preliminary results about usability suggest that this tool can be useful for rehabilitation, improving the confidence of the patients in their movement and reducing the perception of pain.

CCS Concepts

• *Applied computing* → *Life and medical sciences*; • *Human-centered computing* → *Virtual reality*; • *Computing methodologies* → *Simulation environments*;

1. Introducción

La realidad virtual (RV) ha evolucionado rápidamente desde su uso recreativo hasta convertirse en una herramienta de alto valor en sectores como la educación, la industria y la medicina. La capacidad de esta tecnología para generar entornos inmersivos e interactivos ha abierto nuevas posibilidades. En el área de la salud, la RV ha demostrado ser una herramienta muy útil, sobre todo en terapias psicológicas y procesos de rehabilitación física. La RV se utiliza con éxito en el tratamiento de trastornos de ansiedad, estrés post-traumático y fobias, mediante técnicas de exposición gradual en entornos virtuales controlados. En el ámbito de la fisioterapia, los pacientes pueden realizar ejercicios virtuales guiados en un entorno seguro lo que les permite moverse, ejercitarse y relajarse de una manera más atractiva y motivadora durante el tratamiento.

Este trabajo presenta el diseño y desarrollo de tres juegos interactivos, en un entorno virtual, dirigidos a pacientes con dolor crónico de la región cervical. El principal objetivo de la propuesta es facilitar la ejecución de movimientos terapéuticos de una forma guiada, y en un entorno seguro, permitiendo que los pacientes se concentren en la experiencia de juego. Además, el sistema de juego se utilizará como distractor cognitivo para reducir el miedo al movimiento, también conocido como kinesiophobia. Los resultados obtenidos servirán para mejorar la recuperación de los procesos de rehabilitación a través de un entorno motivador buscando

incrementar el bienestar y calidad de vida de las personas en sus diferentes dimensiones.

El trabajo se estructura de la siguiente forma: en primer lugar, se ha realizado una revisión de la bibliografía anterior para analizar los últimos avances científicos en el uso de la realidad virtual en los procesos de rehabilitación así como para tratar fobias. A continuación, se describe la metodología utilizada para diseñar y desarrollar los juegos. En la siguiente sección se muestran los resultados obtenidos y se discute sobre ellos. Por último, se presentan las conclusiones y el trabajo futuro.

2. Trabajo previo

Varios autores han definido el dolor como una experiencia emocional desagradable en la que participa el sistema nervioso central [Mel99, RCC*20]. El dolor crónico es aquel que persiste o se repite durante más de 3 meses [SFA*19]. Dos de las condiciones clínicas con mayor tasa de prevalencia de dolor crónico son el dolor músculo-esquelético cervical crónico y el síndrome de fibromialgia. Además, comparten signos y síntomas que son tratados con movimientos cefálicos-cervicales y de la cintura escapular. Este tipo de condiciones afectan de forma directa a la productividad y calidad de vida de las personas. Entre otros síntomas, pueden llegar a limitar la movilidad y provocar mareos, dolor de cabeza y trastornos del sueño [ZFPD07, SVS*23]. Los tratamien-

tos con mayor respaldo científico para este tipo de dolencias crónicas incluyen el ejercicio aeróbico y el entrenamiento de fuerza [BMC*12, dZ23]. Otras actividades que promueven el uso de una buena postura también pueden ayudar a mantener la carga cervical, reduciendo la presión de los músculos cervicales [APMN*23].

La literatura científica evidencia que quienes sufren este tipo de dolores crónicos en la zona cervical tienen en común la presencia de altos niveles de kinesiophobia, catastrofismo y conductas de evitación [GMMCLG*20]. La kinesiophobia consiste en un miedo al movimiento como resultado de un sentimiento de vulnerabilidad. Las terapias basadas en RV ejercen de elemento distractor para minimizar los efectos de este tipo de conductas y se presentan como una alternativa con bastante potencial a la hora de mejorar la calidad de vida de las personas [NAA*21, OKI24, HJOPGL*24].

En 2013 se proponían los primeros sistemas autónomos para monitorizar y guiar a los pacientes durante la rehabilitación [CKH13]. Algunos autores destacan que las herramientas de RV, como la aplicación FizioVR, mejoran significativamente el compromiso del paciente y la adherencia a los planes de tratamiento de fisioterapia [MPVB16, TLFP23]. Gordo et al. [GRNL23] han presentado recientemente una experiencia virtual, con tres juegos diferentes, destinados a la rehabilitación del aparato locomotor. En esta experiencia, la herramienta permitía configurar el tiempo, el número de repeticiones y la altura de los obstáculos a superarse para adaptar la experiencia de juego al paciente. Algunos autores también han estudiado la combinación de la terapia inmersiva con la terapia convencional obteniendo resultados muy positivos [DZF*23, HJOPGL*24]. Recientemente, Henríquez-Jurado et al. [HJOPGL*24] analizaron un amplio número de trabajos llegando a la conclusión de una mayor efectividad de las terapias basadas en realidad virtual frente al ejercicio terapéutico tradicional, para el dolor crónico cervical y lumbar. Estos estudios destacan cómo las herramientas basadas en realidad virtual están adquiriendo relevancia en los procesos de rehabilitación, lo cual podría potenciar significativamente los resultados terapéuticos en pacientes con dolor crónico cervical.

Quintana et al. [QRB22] presentaron una herramienta para modular entornos virtuales destinados a realizar ejercicios de rehabilitación, permitiendo que los expertos de otras áreas diseñen sus propios entornos virtuales sin necesidad de conocimientos técnicos.

3. Metodología

Esta sección muestra la metodología que se ha seguido para diseñar las experiencias virtuales destinadas a la intervención terapéutica de pacientes con dolor crónico de la región cervical. Para ello, se ha seguido un proceso de diseño centrado en el usuario con cuatro etapas secuenciales:

1. Identificación de las necesidades y requisitos de los profesionales de la rehabilitación.
2. Desarrollo de una herramienta de RV.
3. Establecer un sistema de personalización para los pacientes.
4. Evaluación de la herramienta.

3.1. Necesidades y requisitos

Los requisitos se han definido teniendo en cuenta las necesidades del equipo de fisioterapeutas, compuesto por 3 miembros del Departamento de Fisioterapia de la Universidad de Jaén con experiencia clínica. Se ha diseñado una experiencia virtual compuesta de tres juegos diferentes destinados a realizar movimientos dentro de un rango diferente.

La primera experiencia se centra en movimientos progresivos de flexo-extensión y rotación cervical a partir de movimientos combinados e integradores de la cintura escapular dependiendo de las posiciones de las figuras. El participante debe identificar diferentes figuras geométricas, que aparecen en distintas posiciones en pantalla, para cogerlas y colocarlas en un perímetro, situado en otra zona de la pantalla, con el mismo color y forma. Las cantidad de figuras y perímetros varía tras cada nivel. Además, también aparecen en diferentes lugares, tamaños y colores, aumentando progresivamente la dificultad.

La segunda experiencia pretende añadir progresión en el movimiento cervical e incluirá un mayor movimiento de cintura escapular. Este juego combina nuevamente la movilización de brazos y hombros. El participante deberá coger una pelota, que aparecerá alternativamente a ambos lados de su campo visual, y lanzarlas hacia una zona determinada. La dificultad aumentará de forma gradual desplazando las figuras hacia posiciones más alejadas, obligando al jugador a girar, cada vez más, el cuello y el cuerpo para localizarlas. También se incrementará la dificultad alejando la zona de lanzamiento.

La tercera experiencia implica un movimiento aislado de la región cervical hacia diferentes posiciones. El paciente debe dibujar el perímetro de una figura geométrica con movimientos de su cabeza. Inicialmente, las figuras son pequeñas y situadas al frente para requerir movimientos cervicales suaves. Progresivamente, aumentará la dificultad al ampliar las figuras, exigiendo movimientos cervicales más amplios. En niveles avanzados, el paciente tendrá que rellenar la figura mediante movimientos precisos de cabeza (verticales u horizontales), sin salirse del contorno.

Al requerir movimientos progresivos y simultáneos del cuello y los brazos, el paciente realiza movimientos cervicales funcionales de manera menos consciente, lo que ayuda a reducir la atención al dolor y la kinesiophobia. Las experiencias descritas anteriormente facilitan el movimiento natural del cuello sin que el paciente lo perciba como una terapia estricta o dolorosa, potenciando la coordinación motora y la distracción mediante una tarea cognitiva simultánea. Además, promueve una mayor participación y adherencia al tratamiento por medio de motivación lúdica. Por ello, se ha diseñado un sistema de gamificación destinado a evaluar de forma positiva los avances de niveles realizados por el paciente, en las experiencias descritas en los párrafos anteriores, con el objetivo de fomentar su participación y motivación.

3.2. Sistema de personalización

Respecto a la personalización de la experiencia de los pacientes, se ha diseñado un menú que permite ajustar diversos parámetros para modificar el nivel de dificultad de cada juego, según las necesidades

individuales. Entre los aspectos configurables destacan la velocidad con la que aparecen las figuras, la cantidad, el tamaño, así como el rango de aparición y la posición en la que aparecen dentro del campo visual del paciente. También se ha asignado un conjunto de controles mediante teclado que permite que el especialista ajuste estos parámetros en tiempo real, sin necesidad de interrumpir o reiniciar la experiencia. Esto posibilita una adaptación dinámica e inmediata de la terapia, favoreciendo así una intervención más personalizada, efectiva y fluida.

3.3. Evaluación

La evaluación del sistema se ha centrado principalmente en aspectos relacionados con la usabilidad. Para ello, se han llevado a cabo pruebas iniciales con 14 usuarios sin ningún tipo de dolor con diferentes perfiles. Los usuarios se distribuían en 7 usuarios con experiencia previa en realidad virtual y 7 usuarios con poca, o ninguna, experiencia previa. De estos usuarios, 4 pertenecían al ámbito de la fisioterapia. Cada usuario recibió una breve formación sobre las 3 experiencias de juego antes de experimentar con la herramienta. Tras finalizar las pruebas, cada participante completó una encuesta compuesta por 25 preguntas, utilizando una escala de Likert de 1 a 5, donde 1 representaba la peor valoración y 5 la mejor. La experiencia virtual fue limitada a un minuto.

Estas sesiones han permitido obtener retroalimentación variada sobre el diseño, la interacción y la facilidad de uso de las experiencias propuestas. Si bien hasta el momento no se han realizado pruebas con pacientes reales, está previsto el desarrollo de futuras evaluaciones clínicas para analizar la efectividad terapéutica del sistema y validar su utilidad en contextos reales de rehabilitación.

4. Resultados

La herramienta se ha desarrollado utilizando Unity 3D (v 2022.3.4f1) y las gafas de realidad virtual HTC Vive; no obstante, se ha empleado un framework genérico que garantiza la compatibilidad con otros dispositivos de realidad virtual, ofreciendo así mayor versatilidad y alcance.

La figura 1, muestra una representación de las 3 experiencias de juego implementadas. Estos juegos han sido diseñados específicamente para facilitar diferentes tipos de movimientos cervicales y de miembros superiores, adaptándose progresivamente a las necesidades terapéuticas de los pacientes. Cada juego cuenta con una sección en la que se muestra el tiempo, la puntuación y el nivel en el que se encuentra el usuario. El usuario también recibe retroalimentación en tiempo real para indicarle al paciente si está realizando los ejercicios de forma correcta. Además, el sistema permite personalizar en tiempo real distintos parámetros, como la velocidad de aparición de las figuras, su tamaño y su posición, lo que facilita la adaptación continua del nivel de dificultad durante el tratamiento.

En las encuestas, los usuarios destacaron positivamente la sencillez de la interfaz y facilidad del sistema de interacción. También se obtuvo una puntuación media de 4,22 en cuanto al tiempo de respuesta de la aplicación denotando un buen rendimiento. Sin embargo, algunos usuarios reflejaron que el punto de referencia de las gafas se había desplazado durante la tercera experiencia, por



Figure 1: Experiencias de juego implementadas. a) Primera experiencia. b) Segunda experiencia. c) Tercera experiencia.

lo que debe corregirse en futuras versiones. Por otro lado, aunque en general la prueba se desarrolló sin inconvenientes, dos usuarios manifestaron una leve sensación de mareo. Es posible que esto se deba a un mal ajuste de las gafas de RV.

Los fisioterapeutas señalaron especialmente la utilidad y versatilidad de las opciones de personalización en tiempo real, que les permite adaptar la dificultad de cada juego según las necesidades específicas de cada paciente. También indicaron la necesidad de realizar pequeños ajustes con el rango de movimiento en la segunda experiencia.

5. Conclusiones

Este trabajo presenta una herramienta basada en RV para ayudar a disminuir la kinesiophobia en los pacientes con dolor crónico cervical durante el proceso de rehabilitación. Los resultados preliminares muestran que la herramienta está bien valorada por usuarios y profesionales en términos de usabilidad y aplicabilidad terapéutica. La posibilidad de personalizar en tiempo real los parámetros de cada juego ha sido especialmente destacada por los fisioterapeutas, lo que refuerza su potencial como intervención complementaria en los programas de rehabilitación del dolor crónico cervical.

Como trabajo futuro, se plantea la optimización, mediante los comentarios recibidos, y la realización de pruebas, a través de un estudio de campo controlado y aleatorizado, con pacientes que presenten un dolor crónico cervical. Esto permitirá evaluar la efectividad terapéutica del sistema y la evolución de los síntomas a lo largo del tiempo.

References

- [APMN*23] ALSHEHRE Y. M., PAKKIR MOHAMED S. H., NAMBI G., ALMUTAIRI S. M., ALHARAZI A. A.: Effectiveness of physical exercise on pain, disability, job stress, and quality of life in office workers with chronic non-specific neck pain: A randomized controlled trial. *Healthcare* 11, 16 (Aug. 2023), 2286. URL: <http://dx.doi.org/10.3390/healthcare11162286>, doi:10.3390/healthcare11162286. 2
- [BMC*12] BELLATO E., MARINI E., CASTOLDI F., BARBARETTI N., MATTEI L., BONASIA D. E., BLONNA D.: Fibromyalgia syndrome: Etiology, pathogenesis, diagnosis, and treatment. *Pain Research and Treatment* 2012 (Nov. 2012), 1–17. URL: <http://dx.doi.org/10.1155/2012/426130>, doi:10.1155/2012/426130. 2
- [CKH13] CAMPORESI C., KALLMANN M., HAN J. J.: Vr solutions for improving physical therapy. In *2013 IEEE Virtual Reality (VR)* (Mar. 2013), IEEE, p. 77–78. URL: <http://dx.doi.org/10.1109/VR.2013.6549371>, doi:10.1109/vr.2013.6549371. 2
- [dZ23] DE ZOETE R. M. J.: Exercise therapy for chronic neck pain: Tailoring person-centred approaches within contemporary management. *Journal of Clinical Medicine* 12, 22 (Nov. 2023), 7108. URL: <http://dx.doi.org/10.3390/jcm12227108>, doi:10.3390/jcm12227108. 2
- [DZF*23] DEMECO A., ZOLA L., FRIZZIERO A., MARTINI C., PALUMBO A., FORESTI R., BUCCINO G., COSTANTINO C.: Immersive virtual reality in post-stroke rehabilitation: A systematic review. *Sensors* 23, 3 (Feb. 2023), 1712. URL: <http://dx.doi.org/10.3390/s23031712>, doi:10.3390/s23031712. 2
- [GMMCLG*20] GALAN-MARTIN M. A., MONTERO-CUADRADO F., LLUCH-GIRBES E., COCA-LÓPEZ M. C., MAYO-ISCAR A., CUESTA-VARGAS A.: Pain neuroscience education and physical therapeutic exercise for patients with chronic spinal pain in spanish physiotherapy primary care: A pragmatic randomized controlled trial. *Journal of Clinical Medicine* 9, 4 (Apr. 2020), 1201. URL: <http://dx.doi.org/10.3390/jcm9041201>, doi:10.3390/jcm9041201. 2
- [GRNL23] GORDO A., ROUPA I., NICOLAU H., LOPES D. S.: Feasibility and expert acceptance of a virtual reality gait rehabilitation tool. In *2023 IEEE Conference on Virtual Reality and 3D User Interfaces Abstracts and Workshops (VRW)* (Mar. 2023), IEEE, p. 565–566. URL: <http://dx.doi.org/10.1109/VRW58643.2023.00125>, doi:10.1109/vrw58643.2023.00125. 2
- [HJOPGL*24] HENRÍQUEZ-JURADO J. M., OSUNA-PÉREZ M. C., GARCÍA-LÓPEZ H., LOMAS-VEGA R., LÓPEZ-RUIZ M. D. C., OBRERO-GAITÁN E., CORTÉS-PÉREZ I.: Virtual reality-based therapy for chronic low back and neck pain: a systematic review with meta-analysis. *EFORT Open Reviews* 9, 7 (July 2024), 685–699. URL: <http://dx.doi.org/10.1530/EOR-23-0197>, doi:10.1530/eor-23-0197. 2
- [Mel99] MELZACK R.: From the gate to the neuromatrix. *Pain* 82, Supplement 1 (Aug. 1999), S121–S126. URL: [http://dx.doi.org/10.1016/S0304-3959\(99\)00145-1](http://dx.doi.org/10.1016/S0304-3959(99)00145-1), doi:10.1016/S0304-3959(99)00145-1. 1
- [MPVB16] MUNOZ J. E., PAULINO T., VASANTH H., BARAS K.: Physiovr: A novel mobile virtual reality framework for physiological computing. In *2016 IEEE 18th International Conference on e-Health Networking, Applications and Services (Healthcom)* (Sept. 2016), IEEE, p. 1–6. URL: <http://dx.doi.org/10.1109/HEALTHCOM.2016.7749512>, doi:10.1109/healthcom.2016.7749512. 2
- [NAA*21] NAMBI G., ABDELBASSET W. K., ALRAWAILI S. M., AL-SUBAIE S. F., ABODONYA A. M., SALEH A. K.: Virtual reality or isokinetic training; its effect on pain, kinesiophobia and serum stress hormones in chronic low back pain: A randomized controlled trial. *Technology and Health Care* 29, 1 (Jan. 2021), 155–166. URL: <http://dx.doi.org/10.3233/THC-202301>, doi:10.3233/thc-202301. 2
- [OKI24] OPARA M., KOZINC I., IVEZIĆ D. M.: Effects of virtual reality on pain, disability and kinesiophobia in patients with chronic low back pain: A systematic review with meta-analysis. *Physiotherapy Practice and Research* (Aug. 2024), 1–26. URL: <http://dx.doi.org/10.3233/ppr-230835>, doi:10.3233/ppr-230835. 2
- [QRB22] QUINTANA D., RODRIGUEZ A., BOADA I.: Authoring tools for procedural modeling of virtual reality-based rehabilitation exercises. *IEEE Access* 10 (2022), 131567–131578. URL: <http://dx.doi.org/10.1109/ACCESS.2022.3229210>, doi:10.1109/access.2022.3229210. 2
- [RCC*20] RAJA S. N., CARR D. B., COHEN M., FINNERUP N. B., FLOR H., GIBSON S., KEEFE F. J., MOGIL J. S., RINGKAMP M., SLUKA K. A., SONG X.-J., STEVENS B., SULLIVAN M. D., TUTELMAN P. R., USHIDA T., VADER K.: The revised international association for the study of pain definition of pain: concepts, challenges, and compromises. *Pain* 161, 9 (Sept. 2020), 1976–1982. URL: <http://dx.doi.org/10.1097/j.pain.0000000000001939>, doi:10.1097/j.pain.0000000000001939. 1
- [SFA*19] SCHOLZ J., FINNERUP N. B., ATTAL N., AZIZ Q., BARON R., BENNETT M. I., BENOLIEL R., COHEN M., CRUCCU G., DAVIS K. D., EVERS S., FIRST M., GIAMBERARDINO M. A., HANSSON P., KAASA S., KORWISI B., KOSEK E., LAVAND'HOMME P., NICHOLAS M., NURMIKKO T., PERROT S., RAJA S. N., RICE A. S., ROWBOTHAM M. C., SCHUG S., SIMPSON D. M., SMITH B. H., SVENSSON P., VLAEYEN J. W., WANG S.-J., BARKE A., RIEF W., TREEDE R.-D.: The iasp classification of chronic pain for icd-11: chronic neuropathic pain. *Pain* 160, 1 (Jan. 2019), 53–59. URL: <http://dx.doi.org/10.1097/j.pain.0000000000001365>, doi:10.1097/j.pain.0000000000001365. 1
- [SVS*23] SCATURRO D., VITAGLIANI F., SIGNA G., TOMASELLO S., TUMMINELLI L. G., PICELLI A., SMANIA N., LETIZIA MAURO G.: Neck pain in fibromyalgia: Treatment with exercise and mesotherapy. *Biomedicines* 11, 3 (Mar. 2023), 892. URL: <http://dx.doi.org/10.3390/biomedicines11030892>, doi:10.3390/biomedicines11030892. 1
- [TLFP23] TAN S. Y., LAM M. C., FABURADA J., PAVEL M. I.: Immersive virtual reality: A new dimension in physiotherapy. *International Journal of Advanced Computer Science and Applications* 14, 10 (2023). URL: <http://dx.doi.org/10.14569/IJACSA.2023.0141009>, doi:10.14569/ijacsa.2023.0141009. 2
- [ZFPD07] ZAUTRA A. J., FASMAN R., PARISH B. P., DAVIS M. C.: Daily fatigue in women with osteoarthritis, rheumatoid arthritis, and fibromyalgia. *Pain* 128, 1 (Mar. 2007), 128–135. URL: <http://dx.doi.org/10.1016/J.PAIN.2006.09.004>, doi:10.1016/j.pain.2006.09.004. 1