

Valoración de la Experiencia del Usuario en Entornos Virtuales de Rehabilitación de Miembros Superiores

V. Herrera Tirado ¹, J. Albusac Jiménez ¹, C. González Morcillo ¹, R. Perales Gómez ², L. Blanco Coloma ³, S. Ceruelo Abajo ⁴, V. Lozano Berrio ³, A. de los Reyes Guzmán ^{3,5}

¹ Departamento de Tecnologías y Sistemas de Información, UCLM, Ciudad Real, España, {Vanesa.Herrera,JavierAlonso.Albusac,Carlos.Gonzalez}@uclm.es.

² Unidad de Terapia Ocupacional. Hospital Nacional de Paraplégicos (SESCAM), Toledo, España, rpgomez@sescam.jccm.es

³ Unidad de Biomecánica y Ayudas Técnicas. Hospital Nacional de Paraplégicos (SESCAM), Toledo, España, lbcoloma@externas.sescam.jccm.es, {vlozanob,adlos}@sescam.jccm.es

⁴ Servicio de Rehabilitación. Hospital Nacional de Paraplégicos (SESCAM), Toledo, España, sceruelo@sescam.jccm.es

⁵ Unidad de Neurorrehabilitación, Biomecánica y Función Sensitivo-Motora (HNP-SESCAM), Unidad Asociada de I+D+I al CSIC

Resumen

Las aplicaciones de Realidad Virtual están en auge en el contexto de la rehabilitación de patologías neurológicas y es necesario abordar estudios para conocer el nivel de aceptación de los usuarios, en este caso pacientes con Lesión Medular. Se ha desarrollado un cuestionario exhaustivo formado por 40 preguntas para recoger el nivel de satisfacción y aceptación del usuario comparando la aplicación virtual del Box and Block en su versión inmersiva y no inmersiva. En el estudio participaron 6 sujetos sanos y 6 pacientes con LME. Se obtuvieron diferencias entre ambos entornos virtuales y la ausencia de efectos adversos relacionados con la RV se convierte en un factor fundamental para su aplicación en terapias de rehabilitación.

1. Introducción

En los últimos años, la Realidad Virtual (RV) ha experimentado un crecimiento significativo en su aplicación en diversidad de campos, incluida la medicina y la sanidad. Numerosos estudios se centran en contrastar y demostrar las ventajas de la RV en estas áreas [1, 2, 3]. En particular, dentro del área de la rehabilitación, la RV ofrece un conjunto de ventajas tanto para los especialistas como para los pacientes. En primer lugar, permite la creación de entornos personalizados y estimulantes que van más allá de la realidad cotidiana, brindando una rehabilitación más dinámica. Además, la capacidad de gamificar las terapias aumenta la motivación y el compromiso del paciente [4], reduciendo el riesgo de abandono. Por último, la RV facilita la medición precisa de los movimientos del paciente, lo que simplifica el análisis de su progreso a través de diferentes variables cinemáticas.

En este contexto, están emergiendo aplicaciones que hacen uso del seguimiento directo de las manos sin la necesidad de dispositivos externos. Además, algunos estudios han encontrado que los pacientes prefieren la interacción natural con las manos en entornos de RV en lugar de depender de controladores externos [5].

En concreto, dentro del ámbito de la rehabilitación de pacientes con Lesión de Médula Espinal (LME), la RV muestra ventajas prometedoras. Varios estudios han explorado el uso de la RV en rehabilitación, especialmente

en la recuperación de funciones motoras y la gestión del dolor. Sin embargo, y dado a que se trata de un ámbito de uso reciente, son pocos los estudios relacionados con la aceptación y la percepción del paciente en términos de usabilidad. Marika et al. [6] analizaron la usabilidad y aceptación de la RV en pacientes con dolor crónico, encontrando que la mayoría tuvo experiencias positivas, mostrando interés en su uso futuro. Además, la facilidad de uso de las aplicaciones y la calidad de la experiencia del usuario también influyen en la percepción general.

A partir de este escenario, surge el proyecto en el que se enmarca este trabajo, concebido especialmente para la rehabilitación de miembros superiores en pacientes con LME. Dicho proyecto tiene como objetivo el diseño y desarrollo de una plataforma en la que se despliega un conjunto de *exergames* (juegos serios para la realización de ejercicios físicos enfocados a la rehabilitación de miembros dañados) basados en RV. La plataforma no solo brinda la posibilidad de personalizar la experiencia según las necesidades individuales de cada paciente, sino que también recopila datos cinemáticos que resultan ser herramientas valiosas para la evaluación del progreso y el desempeño en los ejercicios de rehabilitación.

A raíz del desarrollo de esta plataforma, surge la necesidad de medir las sensaciones del usuario/paciente en su uso, así como dar respuesta a una pregunta que va más allá del análisis funcional de esta modalidad terapéutica: *¿se trata de una terapia aceptada por el paciente, que le resulte cómoda y que, además, le motive en su proceso de rehabilitación?*

2. Metodología

La metodología se basa en un cuestionario diseñado específicamente para registrar aspectos cruciales relacionados con la experiencia del paciente (LME y sano) en la utilización de aplicaciones de RV con fines terapéuticos.

2.1. Participantes

En el estudio participaron 6 pacientes con LME y 6 sujetos sanos como grupo de referencia. Los dos grupos eran homogéneos en edad. Todos los pacientes con LME presentaban lesión medular cervical entre los niveles C1-C7 y clasificación ASIA A-D, con función residual de

los miembros superiores que les permitiese interactuar con las aplicaciones virtuales planteadas. El estudio se realiza con la aprobación previa del Comité de Ética.

2.2. Entornos de Realidad Virtual y Adaptación del test Box and Block (BBT)

Para ambos entornos de RV se implementó una versión virtual del test clínico BBT [7]. Los participantes agarran, desplazan y sueltan los cubos virtuales con el uso de sus propias manos, conservando el mismo modo de interacción que con el BBT original. El primer entorno (no inmersivo), se basa en la interacción con elementos virtuales presentados en una pantalla, utilizando el dispositivo Leap Motion Controller (LMC). El segundo entorno (inmersivo) se desarrolló utilizando el dispositivo Meta Quest 2 (MQ2) que permite una experiencia de RV envolvente.

2.3. Cuestionario de evaluación

Se ha desarrollado un cuestionario exhaustivo formado por 40 preguntas para valorar el grado de usabilidad, la sensación de bienestar del usuario durante la realización de ejercicios, la interacción con los elementos virtuales y, finalmente, la percepción global. Para ser más precisos, este cuestionario consta de varias secciones, comenzando con el System Usability Scale (SUS) [8]. Se trata de un test estandarizado para medir la usabilidad global de los entornos virtuales a partir de 10 preguntas en escala Likert puntuadas de 1 a 5. La segunda sección está compuesta por el test estándar Virtual Reality Sickness Questionnaire (VRSQ) [9], diseñado para evaluar la satisfacción y la sensación de presencia en los entornos virtuales. La tercera sección del cuestionario incorpora 4 preguntas diseñadas para este estudio y que abordan aspectos claves de la interacción con los entornos de RV. Finalmente, la última sección consta de 2 preguntas que aportan una valoración global del sistema y de la aplicación utilizada. Estas dos últimas secciones se han diseñado específicamente para este estudio, por lo que no se trata de un test estandarizado.

3. Resultados

3.1. System Usability Scale

En esta sección, se presentan los resultados del System Usability Scale (SUS) como una evaluación de la usabilidad de sistemas y aplicaciones. SUS ofrece puntuaciones en una escala de 0 a 100, y en este estudio se incluyen calificaciones y percentiles [10] para una mejor comprensión.

Los resultados obtenidos (Tabla 1) reflejan una percepción positiva generalizada de usabilidad en ambos grupos, tanto en pacientes como en individuos sanos, independientemente del tipo de entorno de RV utilizado. No obstante, se observa una diferencia entre pacientes LMC y personas sanas al evaluar la aplicación no inmersiva, obteniendo los pacientes una puntuación menor. En contraste, al analizar la aplicación inmersiva, se observó una convergencia significativa entre ambos grupos, indicando que experimentaron una percepción positiva similar en este entorno. Estos resultados se muestran en la Tabla 2, donde los promedios SUS otorgan una preferencia por el entorno inmersivo, en ambos grupos de participantes.

ID	VR	Punt.	Perc.	Calific.	Experiencia
P01	MQ2	85.0	60.42	A+	Ocasional
P01	LMC	47.5	12.5	F	Ocasional
P02	MQ2	92.5	85.42	A+	Ninguna
P02	LMC	75.0	37.5	B	Ninguna
P03	MQ2	72.5	29.17	C+	Ocasional
P03	LMC	27.5	4.17	F	Ninguna
P04	MQ2	85.0	60.42	A+	Ocasional
P04	LMC	85.0	60.42	A+	Ninguna
P05	MQ2	87.5	72.92	A+	Ocasional
P05	LMC	72.5	29.17	C+	Ocasional
P06	MQ2	92.5	85.42	A+	Ninguna
P06	LMC	80.0	45.83	A	Ninguna
S01	MQ2	90.0	79.17	A+	Ocasional
S01	LMC	62.5	20.83	D	Ninguna
S02	MQ2	87.5	72.92	A+	Ninguna
S02	LMC	72.5	29.17	C+	Ninguna
S03	MQ2	77.5	41.67	B+	Ocasional
S03	LMC	42.5	8.33	F	Ninguna
S04	MQ2	95.0	93.75	A+	Muy frec.
S04	LMC	85.0	60.42	A+	Muy frec.
S05	MQ2	95.0	93.75	A+	Muy frec.
S05	LMC	82.5	50.0	A	Ninguna
S06	MQ2	97.5	100.0	A+	Muy frec.
S06	LMC	55.0	16.67	D	Ocasional

Tabla 1. Puntuaciones obtenidas con SUS. De izquierda a derecha: identificador del participante (paciente-P, sano-S), dispositivo de RV utilizado (LMC - MQ2), puntuación total (sobre 100), percentil, calificación y experiencia previa con el dispositivo.

Grupo	Dispositivo de RV	Promedio SUS
Pacientes	LMC	64.58
Pacientes	MQ2	85.83
Sanos	LMC	66.67
Sanos	MQ2	90.42

Tabla 2. Promedio de puntuaciones SUS por grupo de participante y dispositivo de RV.

Con el fin de completar esta sección, se incluyó en el cuestionario una pregunta referente a la frecuencia de experiencia previa con este tipo de aplicaciones de RV. Los hallazgos revelaron patrones significativos. Aquellos participantes con experiencia previa calificada como «Muy frecuente» obtuvieron un promedio de 93.13 en la escala del SUS, lo que indica un alto grado de usabilidad del sistema (Tabla 3). Por otro lado, los individuos que carecían de experiencia previa obtuvieron un promedio de 72.73 en la misma escala. Estos resultados sugieren que una mayor familiaridad y adaptación con el entorno y dispositivo de RV podría estar relacionada con una percepción más favorable de la usabilidad del sistema. Sin embargo, es importante destacar que no se disponía de datos suficientes para evaluar la experiencia previa calificada como «Frecuente».

Para finalizar, se llevó a cabo un análisis estadístico, comparando las puntuaciones SUS entre los entornos LMC y MQ2. En el caso de pacientes LMC, el test t (prueba estadística utilizada para determinar si existe

una diferencia significativa entre las medias de dos grupos) arrojó un valor de $-2,214$ sin diferencias significativas ($p=0.0512$). El resultado negativo sugiere que las puntuaciones de usabilidad para pacientes tienden a ser más altas en el entorno totalmente inmersivo con Meta Quest 2, en comparación con el entorno LMC.

Experiencia previa	Promedio puntuación SUS
Ninguna	72.73
Ocasional	74.72
Frecuente	NaN
Muy frecuente	93.13

Tabla 3. Promedio de las puntuaciones SUS según la experiencia previa.

4.2. Virtual Reality Sickness Questionnaire

VRSQ es un test de 9 preguntas utilizado para analizar la presencia y severidad de síntomas de mareo y malestar en entornos de RV. Esta versión reducida, basada en el cuestionario SSQ[11], encapsula dos dimensiones distintas de sintomatología y una valoración global, cada una valorada con un máximo de 100 puntos: oculomotor y desorientación. Los resultados del VRSQ permiten evaluar la tolerancia de los participantes a la RV.

En la figura 1 se observan los promedios de las puntuaciones individuales obtenidas para las dos dimensiones, las cuales fueron notablemente bajas, oscilando entre 0 y 25 en una escala de 0 a 100. Esto indica una percepción baja de malestar en relación con la experiencia en RV.

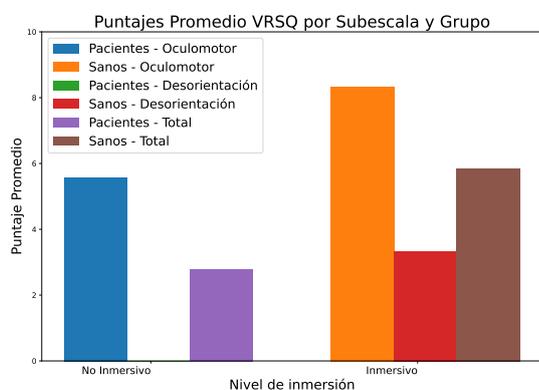


Figura 1: Comparación de puntuaciones VRSQ.

El análisis estadístico no reveló diferencias significativas entre los grupos. A pesar de esto, se observa una tendencia general de puntuaciones más bajas en los pacientes con LME en comparación con los sanos.

3.3. Interacción y gamificación

Esta sección del cuestionario explora aspectos vinculados con la interacción y la gamificación a través de 4 preguntas específicas: P1. La interacción con los elementos virtuales fue fluida y natural; P2. Me ha resultado fácil agarrar los objetos; P3. Me ha resultado fácil soltar los objetos; P4. Los elementos audiovisuales me han

ayudado a conocer el estado de la interacción; P5. Sentí sensación de presencia y conexión con el entorno virtual. Los participantes proporcionaron sus respuestas utilizando una escala tipo Likert de 1 a 5, siendo 1 la puntuación mínima.

En general, los pacientes experimentaron una mejora en la interacción con elementos virtuales en el entorno inmersivo en comparación con el no inmersivo. En este último, calificaron la interacción con un promedio de 2.67, mientras que en el inmersivo, obtuvieron un promedio de 4.67, indicando una mejoría significativa. En la facilidad para agarrar y soltar objetos también se observaron diferencias con un promedio de 3 en el LMC y 4.83 en el MQ2. Además, la sensación de presencia fue mucho más alta en el entorno inmersivo, con un promedio de 4.83 para los pacientes y 4.67 para los usuarios sanos (Tabla 4).

Pregunta	LMC-P	LMC-S	MQ2-P	MQ2-S
P1	2.67	3.00	4.67	4.33
P2	3.00	3.17	4.83	3.83
P3	3.00	3.67	4.00	3.67
P4	3.83	4.17	5.00	4.50
P5	2.50	3.33	4.83	4.67

Tabla 4. Promedios interacción en función de los participantes (P-paciente, S-sano) y dispositivo de RV.

Se examinó la percepción de la fluidez y naturalidad en la interacción con elementos virtuales, y los resultados revelaron diferencias notables ($t=-3,708$, $p=0,001$) entre la interacción en entornos no inmersivos e inmersivos. La magnitud negativa del test sugiere que la percepción de la interacción con elementos virtuales experimentó variaciones significativas entre los grupos evaluados. De manera paralela, la evaluación de la facilidad para agarrar objetos virtuales también evidenció diferencias significativas entre los grupos evaluados ($t=-2.121$, $p=0.045$). Esta observación apunta a la influencia en la percepción de la destreza al interactuar con elementos virtuales. Asimismo, se identificó diferencia significativa ($t=-4.844$, $p=7.687e-05$) en la sensación de presencia y conexión con el entorno virtual. Este resultado enfatiza el papel crucial de los entornos inmersivos en la ampliación de la sensación de presencia y conexión en la experiencia de realidad virtual. Una sensación de mayor presencia puede contribuir a una inmersión más profunda y una conexión más sólida con el entorno virtual. En resumen, los entornos inmersivos tienen un impacto significativo en la percepción de la fluidez, facilidad de agarre y sensación de presencia en la interacción con elementos virtuales. Los resultados respaldan la noción de que la inmersión puede potenciar positivamente la experiencia de interacción en aplicaciones de RV, permitiendo una realización más precisa de ejercicios y la posibilidad de mejorar los resultados esperados en la terapia.

3.4. Valoración global

En la última sección del cuestionario, se exploraron las percepciones de los participantes en relación con la valo-

ración global de la aplicación de RV en los dos entornos de inmersión. A los pacientes se les realizó 2 preguntas y su respuesta se registró en una escala de 1 al 5, donde 1 indicaba «Totalmente en desacuerdo» y 5 «Totalmente de acuerdo». Las preguntas planteadas fueron: P1. Me gustaría seguir utilizando aplicaciones de realidad virtual, enfocadas a la rehabilitación de los miembros superiores, con este dispositivo; P2. Creo que este tipo de rehabilitación puede ser un buen complemento a la rehabilitación convencional.

A la P1., los pacientes que utilizaron MQ2 obtuvieron un promedio de 5.0, indicando un alto nivel de aceptación y deseo de continuar utilizando estas aplicaciones. Sin embargo, este promedio baja sustancialmente (a un 3.33) cuando se trata de RV no inmersiva, lo cual sugiere una percepción algo menos entusiasta, pero aún positiva. En los pacientes sanos los promedios en ambos entornos fueron más similares. Se obtuvo, 4.67 en el uso de MQ2 y 4.17 con LMC (Tabla 5).

De manera similar, en la pregunta 2., los pacientes que utilizaron MQ2 nuevamente presentaron el promedio más alto, con un valor de 4.67, mientras que los pacientes LMC obtuvieron un promedio de 4.17. En sanos estos promedios se asemejan (Tabla 5).

	P1-LMC	P1-MQ2	P2-LMC	P2-MQ2
Paciente	3.33	5.00	3.83	5.00
Sano	4.17	4.67	4.33	4.67

Tabla 5. Promedios de la valoración global.

En los pacientes se encontraron diferencias significativas según el tipo de dispositivo de RV utilizado. Los pacientes que utilizaron MQ2 mostraron una mayor disposición a continuar usando estas aplicaciones en comparación con los que usaron LMC ($t=-2.5, p=0.031$). Sin embargo, en la pregunta sobre si este tipo de rehabilitación podría ser un buen complemento a la rehabilitación clásica, no se encontraron diferencias significativas ($t=-2.150, p=0.057$), lo que sugiere que ambas poblaciones analizadas compartieron opiniones similares en este aspecto.

Estos resultados sugieren que la RV inmersiva puede generar un mayor entusiasmo entre los pacientes, concretamente en este estudio en pacientes con LME.

4. Conclusiones

Los hallazgos encontrados animan a ampliar la muestra y sugieren un camino prometedor para el desarrollo de aplicaciones de RV enfocadas en la rehabilitación de miembros superiores, con un enfoque particular en la inmersión como factor clave para una experiencia satisfactoria y beneficiosa en pacientes con LME. Además, los resultados en el test VRSQ refuerzan la percepción general de que la RV es una tecnología segura y bien tolerada en entornos terapéuticos, lo que aumenta su atractivo y su prometedor futuro en el ámbito de la rehabilitación.

Agradecimientos

Proyectos PID2020-117361RB-C21 y PID2020-117361RB-C22 financiados por

MCIN/AEI/10.13039/501100011033.

Referencias

- [1] Anna Grochowska, Adam Wichniak, and Marek Jarema. Virtual reality – a valuable tool to advance treatment of mental disorders. *Archives of Psychiatry and Psychotherapy*, 21(1):65–73, March 2019.
- [2] Wanling Zhang, Dharendra Paudel, Rui Shi, Jie Liang, Jingwen Liu, Xiansheng Zeng, Yunfei Zhou, and Bin Zhang. Virtual Reality Exposure Therapy (VRET) for Anxiety Due to Fear of COVID-19 Infection: A Case Series. *Neuropsychiatric Disease and Treatment*, 16:2669–2675, December 2020.
- [3] Brian Mallari, Emily K. Spaeth, Henry Goh, and Benjamin S. Boyd. Virtual reality as an analgesic for acute and chronic pain in adults: a systematic review and meta-analysis. *Journal of Pain Research*, 12:2053–2085, 2019.
- [4] Florian Kern, Carla Winter, Dominik Gall, Ivo Käthner, Paul Pauli, and Marc Erich Latoschik. Immersive virtual reality and gamification within procedurally generated environments to increase motivation during gait rehabilitation. In *2019 IEEE Conference on Virtual Reality and 3D User Interfaces (VR)*, pages 500–509, 2019.
- [5] M-Carmen Juan, Julen Elexpuru, Paulo Dias, Beatriz Sousa Santos, and Paula Amorim. Immersive virtual reality for upper limb rehabilitation: comparing hand and controller interaction. *Virtual Reality*, 27(2):1157–1171, June 2023.
- [6] Michelle Dy, Karla Olazo, Courtney R Lyles, Susan Lisler, Janice Weinberg, Catherine Lee, Marlon E Tarver, Amrita Saha, Kimberly Kontson, Roxana Araojo, Elizabeth Brown, and Urmimala Sarkar. Usability and acceptability of virtual reality for chronic pain management among diverse patients in a safety-net setting: a qualitative analysis. *JAMIA Open*, 6(3):o0ad050, Jul 2023.
- [7] Virgil Mathiowetz, Gloria Volland, Nancy Kashman, and Karen Weber. Adult norms for the box and block test of manual dexterity. *The American Journal of Occupational Therapy*, 39(6):386–391, 1985.
- [8] John Brooke. Sus: a “quick and dirty” usability. *Usability evaluation in industry*, 189(3):189–194, 1996.
- [9] Hyun K. Kim, Jaehyun Park, Yeongcheol Choi, and Mungyeong Choe. Virtual reality sickness questionnaire (vrsq): Motion sickness measurement index in a virtual reality environment. *Applied Ergonomics*, 69:66–73, 2018.
- [10] Jeff Sauro and James R. Lewis. *Quantifying the user experience: practical statistics for user research*. Elsevier, Morgan Kaufmann, Amsterdam Boston Heidelberg, 2nd edition edition, 2016.
- [11] Robert S Kennedy, Norman E Lane, Kevin S Berbaum, and Michael G Lillenthal. Simulator sickness questionnaire: An enhanced method for quantifying simulator sickness. *The international journal of aviation psychology*, 3(3):203–220, 1993.