

Realidad Virtual Inmersiva en personas mayores: estudio de casos Immersive Virtual Reality in older people: a case study

Pablo Campo-Prieto, José M^a Cancela Carral, Iris Machado de Oliveira, Gustavo Rodríguez-Fuentes
Universidad de Vigo (España)

Resumen. Introducción: El uso de la Realidad Virtual Inmersiva (RVI) se encuentra en auge en todas las franjas de edad. Sin embargo, algunos problemas estructurales han limitado su aplicación en colectivos más frágiles. Objetivo: Analizar la seguridad, usabilidad y experiencias de la RVI en personas mayores. Método: 4 varones (2 parkinsonianos y 2 sanos, 57-78 años) participaron en el estudio. Realizaron una sesión de RVI (10-15 minutos) con un dispositivo *Head-Mounted Display* (HTC Vive Pro). Se evaluó la seguridad de la experiencia inmersiva (SSQ), usabilidad del sistema (SUS) e impresiones tras la experiencia (GEQ) y un cuestionario de satisfacción *ad hoc* para identificar fortalezas y puntos débiles de la herramienta). Resultados: Todos completaron la sesión con éxito, sin efectos adversos. La usabilidad del sistema fue buena, incluso salvando obstáculos como la presencia de gafas correctoras de visión y audífono. Las opiniones tras la sesión señalaron lo positivo de la experiencia y todos mostraron su predisposición a repetirla, calificándola como entretenida, divertida y útil. Conclusión: El uso con éxito de la RVI en los casos presentados abre la puerta a futuras investigaciones con ensayos clínicos que puedan evaluar la posible mejora de variables físicas, psíquicas y sociales en la población sénior española.

Palabras clave: Realidad Virtual, Terapia de Exposición mediante Realidad Virtual, Persona mayor, Enfermedad de Parkinson.

Abstract. Background: The use of Immersive Virtual Reality (IVR) is booming in all age groups. However, some structural problems have limited its application in more fragile groups. Objective: Analyze the safety, usability and experiences of IVR in older people. Method: 4 males (2 parkinsonian and 2 healthy, 57-78 years) participated in the study. They conducted an RVI session (10-15 minutes) with a Head-Mounted Display (HTC Vive Pro) device. The safety of immersive experience (SSQ), system usability (SUS), and impressions after experience (GEQ) and an *ad hoc* satisfaction questionnaire to identify strengths and weaknesses of the tool) were evaluated. Results: Everyone completed the session successfully, without adverse effects. The usability of the system was good, even overcoming obstacles such as the presence of vision corrective glasses and hearing aids. Opinions after the session pointed out the positive experience and all participants showed their willingness to repeat it, describing it as entertaining, fun, and useful. Conclusion: The successful use of IVR in the cases presented opens the door to future research with clinical trials that can evaluate the improvements of physical, psychic and social variables in the Spanish senior population.

Keywords: Virtual Reality, Virtual Reality Exposure Therapy, Aged, Parkinson's Disease.

Introducción

El uso de la Realidad Virtual Inmersiva (RVI) se encuentra en auge, tanto a nivel social, con aceptación y popularidad en el conjunto de la sociedad y un crecimiento marcado desde su desarrollo hasta su implantación; como a nivel terapéutico, siendo una intervención ya común en el ámbito médico y, más concretamente, rehabilitador (Yildirim, 2019). Uno de sus objetivos es transportar a los usuarios a espacios virtuales multisensoriales, creando la sensación de estar allí (Coelho et al., 2019). Dispositivos como los *Head-mounted display* (HMD) han sido utilizados en aplicaciones de ámbitos tan distintos como educación, entretenimiento, ingenierías, industria aeronáutica y también en el campo de la salud (Benham, Kang, & Grampurohit, 2019; Duque et al., 2013; Rebenitsch & Owen, 2016). Además, el uso de entornos inmersivos se extiende a todas las franjas de edad (Chen, Fanchiang & Howard, 2018; Howes, Charles, Holmes, Pedlo., Wilson & McDonough, 2017; Kim, Darakjian & Finley, 2017).

Sin embargo, algunos problemas estructurales han limitado su aplicación en colectivos más frágiles (Davis, Nesbitt & Nalivaiko, 2014). Uno de estos problemas ha sido el poder acercar las nuevas tecnologías con éxito a las personas mayores, aunque, y al contrario de lo que se pudiese pensar, en los últimos años se observan más actitudes positivas que negativas con respecto a su uso (Roberts, De Schutter, Franks & Radina, 2019) y un mayor dominio tecnológico (Pargaonkar,

Mishra & Kadam, 2019). De hecho, existe evidencia científica de la participación de estos colectivos en programas de *exergaming* diseñados con base en plataformas de entretenimiento como *Nintendo Wii*, *Microsoft Xbox* o *Sony PlayStation*, representando una alternativa económica y motivadora (Warland et al., 2019).

Otro importante inconveniente de la exposición inmersiva ha venido dado por la presencia de *cybersickness*, posiblemente debido a incongruencias y conflictos sensoriales entre estímulos visuales, vestibulares y de movimiento en los entornos virtuales que no se corresponden con el entorno real (Kennedy, Lane, Berbaum & Lilienthal, 1993). Este fenómeno abarca sintomatología adversa, como malestar, náusea, vértigo o mareos, entre otros (Kennedy, Drexler & Kennedy 2010). Si a ello se le añade la franja de edad de la población a estudio, podría limitar su uso aún más si cabe. Recientemente, dispositivos inmersivos desarrollados específicamente para el campo de la rehabilitación, IREX, CAREN, ARMEO o JINTRONIX, han sido utilizados con población sénior, aunque son ejemplos de dispositivos complejos y con un alto coste (Warland et al., 2019), dificultando su accesibilidad fuera de un entorno clínico especializado.

Por otro lado, el uso de experiencias y juegos inmersivos sustentados en los HMD comerciales como *Oculus Rift*, *HTC Vive* o *Samsung Gear VR Headset*, podrían suponer una valiosa alternativa en el campo del entretenimiento, la salud y la rehabilitación debido a su disponibilidad y moderado coste (Morone et al., 2016).

Por todo ello, el objetivo de este estudio es analizar la seguridad, usabilidad y las experiencias personales de una serie de casos del colectivo sénior tras la exposición a una

doble experiencia virtual-inmersiva mediante un HMD comercial.

Material y método

Participantes

Cuatro varones (2 parkinsonianos y 2 sanos, con edades entre 57-78 años) participaron en el estudio. Fueron reclutados por un fisioterapeuta neurológico e invitados a participar en la sesión de RVI. Tras la aceptación, se les informó y explicó los aspectos ligados a la intervención y se les suministró el consentimiento informado para proceder a su firma.

Participante 1: MT

Varón de 78 años diagnosticado de Enfermedad de Parkinson (EP) hace 10 años. Actualmente, se encuentra en estadio 4 de la Escala de Hoehn & Yahr (Hoehn & Yahr, 1967), utiliza silla de ruedas, necesita de gafas correctoras de visión y de 2 audífonos. Sedentario.

Participante 2: CF

Varón de 58 años diagnosticado de EP hace 7 años. Actualmente, se encuentra en estadio 2 de la Escala de Hoehn & Yahr (Hoehn & Yahr, 1967) y necesita gafas correctoras de visión. Realiza paseos y actividad física en domicilio 3 veces por semana.

Participante 3: TT

Varón de 67 años sano. Familiar de CF y actualmente jubilado. Necesita de gafas correctoras de visión. Realiza paseos con frecuencia diaria.

Participante 4: TL

Varón de 57 años sano. Cuidador de MT y, de profesión, chófer. Sedentario.

Descripción del entorno virtual y de las tareas inmersivas

El entorno virtual inmersivo fue recreado utilizando el dispositivo comercial de entretenimiento HTC Vive Pro™ (Figura 1). Este sistema consiste en un HMD, dos controladores de mano, dos sensores externos para delimitar la superficie de juego y el soporte de los softwares Viveport (<https://viveport.com>) y Steam VR (<https://store.steampowered.com/>), apoyados en un ordenador de sobremesa (CPU: Intel Core I7 7.700 a 3,6GHz, 1Tb HDD Sata 3,5 y GPU NVIDIA GeForce RTX 2070). También se utilizó una pantalla LED para guiar las actividades y configurar aspectos técnicos del dispositivo. Se delimitó una zona de juego de aproximadamente 5 m² siguiendo las recomendaciones de instalación del fabricante y teniendo en cuenta las dimensiones del espacio seleccionado.



Figura 1. Equipo HTC Vive Pro™

En este estudio, los participantes usaron la RVI durante 10/15 minutos. Los investigadores seleccionaron 1 experiencia y 1 juego para la intervención, planteadas como dos partes de una sesión. Los investigadores informaron a los participantes de la necesidad de terminar la sesión si en algún momento experimentaban malestar. La posición de los participantes durante la intervención fue de pie (excepto MT que realizó la sesión en su silla de ruedas). Cada participante dispuso de una sesión individual guiada y supervisada en todo momento por un fisioterapeuta con experiencia en personas mayores y EP (Figura 2).



Figura 2. Participante durante la sesión de Realidad Virtual Inmersiva

La primera parte consistió en una experiencia llamada *TheBlu* (disponible en la biblioteca de Viveport.com) que simula estar en el fondo marino. Aunque se trata de una experiencia de observación, los usuarios pueden interactuar tocando elementos que, a su vez, también reaccionan a dichos estímulos. Se escogió esta actividad puesto que suele resultar relajante, semipasiva y puede ser utilizada como aclimatación para usuarios que nunca han probado la RVI. Tras esta experiencia, se realizó un pequeño receso de 1 minuto y se preguntó a los participantes por la existencia de algún malestar ligado a la presencia de *cybersickness*.

Acto seguido, realizaron la segunda parte de la sesión con el juego *NVIDIA VR Fun House* (disponible en la tienda de Steam VR) y que simula estar en una feria, donde los participantes forman parte activa de la experiencia y realizan diferentes tareas como coger y arrojar objetos, tiro con arco o explotar globos, entre otras. Este juego requiere del movimiento de los miembros superiores, tronco, cabeza, miembros inferiores, para variar la posición si se requiere, y de movimientos de coordinación. En la Figura 3 pueden observarse *screenshots* de ambos juegos.



Figura 3. Screenshots del juego NVIDIA VR Fun house y la experiencia TheBlu utilizados en la sesión

Evaluaciones

Los cuatro participantes terminaron la sesión sin incidencias y tras finalizarla se evaluó:

1. Seguridad de la experiencia inmersiva a través del *Simulator Sickness Questionnaire* (SSQ) (Kennedy et al., 1993). Este cuestionario fue diseñado para ser aplicado en diferentes dispositivos que utilizan la simulación, consta de 16 ítems, los cuales se agrupan en tres subescalas o factores:

1. Síntomas Oculomotores, 2. Desorientación 3. Náuseas. La puntuación total del SSQ es el sumatorio de las puntuaciones de las tres subescalas. Cada ítem se evalúa en una escala de cuatro puntos (0 = no siento nada, 1 = un poco, 2= medio y 3 = mucho). Esta estructura factorial ha sido ampliamente utilizada para medir la frecuencia de los cibermareos en la población general (Kennedy, Drexler, & Kennedy, 2010; Lawson et al., 2002).

2. Usabilidad del sistema mediante la *System Usability Scale* (SUS) (Brooke, 1996). La SUS fue desarrollada como una escala de encuesta «rápida y sucia» que permite a los profesionales evaluar la usabilidad de un producto/servicio de una forma rápida y fácil. La SUS es una escala de Likert que incluye 10 preguntas. Los participantes clasificarán cada pregunta del 1 al 5 según cuánto estén de acuerdo con la declaración que están leyendo. 5 significa que están completamente de acuerdo, 1 significa que no están de acuerdo (Aguilar & Villegas, 2016).

3. Impresiones personales utilizando el módulo post juego del *Game Experience Questionnaire* (GEQ-post game) (Ijsselstein, de Kort & Poels, 2013) El GEQ es un cuestionario que consta de tres módulos (modulo principal, modulo social y modulo post juego). El módulo 1 y 2 sondan los sentimientos y pensamientos del jugador, mientras que el 3 evalúa como se sintieron los jugadores después de haber dejado de jugar. Este último módulo, utilizado en nuestro estudio, es una escala Likert, consta de 17 ítems donde las respuestas son calificadas por como es la intensidad del sentimiento (0 es nada y 4 extremadamente). Estos ítems se encuadran en 4 componentes: experiencias positivas, experiencias negativas, cansancio y vuelta a la realidad (Denisova, Nordin & Cairns, 2016).

4. Se elaboró un cuestionario de satisfacción *ad hoc* que constaba de 5 preguntas para identificar las fortalezas y punto débiles de la intervención (Ver tabla 1).

El orden de aplicación de las escalas de evaluación fue establecido de la siguiente manera: SSQ, SUS, GEQ-post game y cuestionario de satisfacción *ad hoc*, siendo aplicadas de forma individualizada a cada participante, una vez que este había realizado las dos partes de la experiencia inmersiva descritas anteriormente.

Estas herramientas de valoración han sido empleadas ya en investigaciones similares (Bank, Cidota, Ouwehand & Lukosch, 2018; Como, Bouchard & Forget, 2014; Kim et al., 2017). Con ellas, se pretende evaluar la factibilidad del uso de experiencias con RVI con los dispositivos comerciales aquí presentados, así como informar y describir aspectos singulares que ayuden a determinar posibles futuras mejoras en las herramientas disponibles y en su protocolo de aplicación.

Tabla 1
Cuestionario de satisfacción *ad hoc* Realidad Virtual Inmersiva y respuestas recibidas.

Preguntas	Respuestas, n (%)
1. ¿Cómo ha sido la experiencia?	"muy positiva" (100%)
A. ¿Qué te ha gustado más?	"lo entretenido y divertido de la experiencia" "lo real de lo vivido"
B. ¿Ha habido algo que no te ha gustado?	"los mandos"
2. ¿Repetirías la experiencia con RVI?	"Si" (100%)
3. ¿Recomendarías la experiencia con RVI?	"Si" (100%)
4. ¿Consideras que puede ser útil para personas de tu edad? ¿Por qué?	"Si" (100%) "es muy divertido" "me motiva para moverme" "es entretenido"
5. Comentarios libres	"es genial" "mejorar la ergonomía de los mandos"

Resultados

Todos los participantes completaron la sesión con éxito sin presentar efectos adversos. Las gafas correctoras de visión y los audífonos no fueron inconveniente para el normal desarrollo de sesión.

Los ítems del SSQ fueron calificados como inexistentes al término de la segunda experiencia inmersiva, a excepción de CF, que informó de presencia leve de cansancio y aumento de saliva (ítem 2 e ítem 6 respectivamente), y de TT, que informó de un incremento moderado de la saliva (ítem 6). La usabilidad del sistema fue considerada como buena por todos los sujetos a tenor de las respuestas a los ítems de la SUS, destacando su disponibilidad a usarla frecuentemente (ítem 1), aunque también informando de cierta dificultad en el manejo inicial (ítem 3), justificado por la percepción de la necesidad de ayuda de otra persona con conocimientos del dispositivo (ítem 4). Las experiencias personales evaluadas con el GEQ-post game, obtuvieron elevadas puntuaciones en las cuestiones que determinan las experiencias positivas (ítems 1, 5, 7, 8, 12, 16) y bajas o nulas en las cuestiones relativas a experiencias negativas (2, 4, 6, 11, 14, 15) en todos los participantes. Tampoco se informó de cansancio ni problemas con la vuelta a la realidad, exceptuando a CF que, como ya hiciera en el ítem 2 del SSQ, contestó sentirse moderadamente cansado (ítem 13 GEQ-post game).

Por último, las respuestas al cuestionario de satisfacción *ad hoc* (véase Tabla 1) calificaron la sesión como «muy positiva», «lo entretenido y divertido de la experiencia» así como «lo real de lo vivido». Como puntos a mejorar, TT sugirió «mejorar la ergonomía de los mandos». Todos los participantes coincidieron en el deseo de repetir la experiencia y en recomendarla a un amigo. Por último, también consideraron de utilidad su aplicación en personas de su franja de edad por motivos como «es muy divertido», «me motiva para moverme» o «es entretenido».

Discusión

Este estudio de casos provee de evidencia preliminar en el uso de RVI con HMD comerciales aplicada a personas mayores en España. Al igual que señalan otras investigaciones (Espay et al., 2010; Kim et al., 2017; Robles-García et al., 2013), la patología parkinsoniana no parece suponer un gran impedimento para llevar a cabo la intervención con las experiencias seleccionadas, salvo la necesidad de adaptación del puesto para realizar la sesión inmersiva. Otros autores ya propusieron la adaptación de dicho puesto por motivos de seguridad (Benham et al., 2019), planteando que la posición inicial de los participantes fuese sentado.

En nuestro caso es importante destacar que MT tuvo dificultad para visualizar el total del escenario virtual desde su posición de sentado en su silla de ruedas. Esto fue debido a que, en lo avanzado de su patología, es normal adquirir un gran componente de cifosis dorsal, lo que dificulta una visión vertical superior y horizontal plena. Este hecho fue suplido por el terapeuta que dirigía la sesión inclinando aproximadamente 30° su silla y asistiéndole durante toda la sesión. Quizás, teniendo en cuenta el perfil de estos pacientes, sería recomendable utilizar una silla con respaldo reclinable en

futuras ocasiones para mitigar la presencia de esta barrera.

Barreras como las encontradas en otros estudios, que informaban de dificultades de usuarios con gafas correctoras para integrarlas en el HMD (Roberts et al., 2019), no han supuesto en nuestro ensayo ningún problema adicional. En este sentido, consideramos importante destacar, además, que, para el modelo de HMD Vive Pro™, tampoco se ha mostrado incompatibilidad con el uso de audífonos. Para terminar con este capítulo, se debe mencionar que, aunque nuestro dispositivo contaba con el adaptador wifi, éste no se encontraba instalado el día de la prueba, por lo que el HMD se usó con un cable de conexión hasta el ordenador. La persona de supervisión tuvo que prestar especial atención a esta circunstancia, pues en los sujetos que realizaron la sesión de pie existía peligro real de que el cable entorpeciera algunos movimientos, incluso con la posibilidad de generar riesgo de caídas. En la medida de lo posible, el adaptador wifi se considera un elemento de seguridad importante para minimizar los riesgos en una sesión de pie.

También se debe señalar que la no presencia de sintomatología adversa vinculada a la exposición a entornos inmersivos supone un refuerzo a la seguridad de las intervenciones, tan importante en un colectivo tan sensible como el presentado. Kim et al. (2017) informaban en su trabajo que los valores de *cybersickness* eran más elevados en población parkinsoniana y en adultos mayores. El *cybersickness* es un potencial problema en este campo y ya ha sido, en alguna ocasión, motivo de abandono de los participantes en otros ensayos (Corno et al., 2014; Espay et al., 2010). Sin embargo, en épocas más recientes su incidencia ha ido decreciendo. Así, en el estudio de Trombetta, Bazzanello, Brum, Colussi, De Marchi & Rieder (2017) se informaba de que el 20% de los participantes sufrió algún efecto adverso, mientras que Bank et al., 2018 y Benham et al. (2019) hacen mención en sus investigaciones a que algunos usuarios manifestaron sentir algún pequeño mareo, aunque no condicionó el normal desarrollo de la sesión. Este hecho parece ir íntimamente ligado al desarrollo de los dispositivos inmersivos, cada vez mejores y con mayor calidad tecnológica, minimizando los posibles síntomas de la inmersión. De todas formas, en nuestra opinión, algunos aspectos intrínsecos a cada juego o experiencia, como la posición de partida o la presencia de actividades dinámicas con fuertes aceleraciones dentro del entorno de la RVI, se antojan aspectos a tener en cuenta y que, posiblemente, puedan incrementar la aparición de sintomatología asociada. Teniendo presente esto, es recomendable adecuar la posición y la actividad seleccionada al colectivo con el que se pretende trabajar dentro del entorno de la RVI.

Con respecto a la usabilidad del sistema fue considerada buena por los participantes, si bien, y teniendo en cuenta que era su primer acercamiento a esta tecnología, parece lógico el soporte y ayuda de otra persona que facilite la introducción a la RVI. Este aspecto es recurrente en diferentes investigaciones (Howes et al., 2017; Roberts et al., 2019; Trombetta et al., 2017), por lo que parece razonable mantener este protocolo, por lo menos, en las primeras sesiones.

Con respecto a las experiencias personales, las respuestas al GEQ-post game y al cuestionario *ad hoc* mostraron y refrendaron la elevada satisfacción con la experiencia

inmersiva, coincidiendo con lo hallado por autores que han venido utilizando estos dispositivos inmersivos. Desde Murray et al. (2007), pasando por Duque et al. (2013), Robles-García et al., (2013) o, más actualmente, Bank et al. (2018), Benham et al. (2019), Roberts et al. (2019) o Phu, Vogrin, Al Saedi & Duque (2019) han obtenido resultados positivos en estas franjas de población. Nuestros hallazgos, por tanto, van en sintonía con estas investigaciones, obteniéndose también resultados de satisfacción favorables y objetivando que, como ya se había informado en el caso del uso de otras nuevas tecnologías de soporte como apps móviles (Díaz et al., 2019), la realidad virtual establece nuevos componentes motivacionales para realizar actividad física y por lo tanto, su práctica, permitiría incidir de manera positiva sobre aspectos físicos y psico-sociales de las personas mayores (Heredia et al., 2020).

No obstante, estos resultados preliminares han de ser interpretados en su justa medida, puesto que existen algunas limitaciones como el tamaño muestral o la no presencia de mujeres en el estudio. Además, solo se han evaluado las experiencias tras una única sesión y en un determinado perfil de escenario virtual. Debido a ello, estas limitaciones justifican la apertura de futuras líneas de investigación con ensayos clínicos, con intervenciones más largas y con un mayor y más diverso tamaño muestral. Así mismo, consideramos que, teniendo en cuenta la percepción positiva y entretenida de las sesiones, y, en consecuencia, una presumible elevada adherencia a las intervenciones, podrían contemplarse evaluar variables físicas, psíquicas y sociales en la población sénior española, independientemente de si el objetivo es rehabilitar una patología o mantener las capacidades funcionales en población sana a través de actividades de ocio.

Conclusiones

Los autores señalan que los hallazgos preliminares obtenidos en este trabajo de investigación, son prueba de que los dispositivos comerciales actuales parecen garantizar la seguridad y factibilidad de las exposiciones a RVI en la franja de población aquí presentada, así como en población mayor diagnosticada con la enfermedad de Parkinson.

Referencias

- Aguilar, M. I. H., & Villegas, A. A. G. (2016). Análisis comparativo de la Escala de Usabilidad del Sistema (EUS) en dos versiones/Comparative analysis of the System Usability Scale (SUS) in two versions. *RECI Revista Iberoamericana de las Ciencias Computacionales e Informática*, 5(10), 44-58. <https://www.reci.org.mx/index.php/reci/article/view/48>
- Bank, P. J. M., Cidota, M. A., Ouweland, P. E. W., & Lukosch, S. G. (2018). Patient-Tailored Augmented Reality Games for Assessing Upper Extremity Motor Impairments in Parkinson's Disease and Stroke. *Journal Of Medical Systems*, 42(12), 246. <https://doi.org/10.1007/s10916-018-1100-9>
- Benham, S., Kang, M., & Grampurohit, N. (2019). Immersive Virtual Reality for the Management of Pain in Community-Dwelling Older Adults. *OTJR: Occupation, Participation & Health*, 39(2), 90-96. cin20. <https://doi.org/10.1177/1539449218817291>
- Brooke, J. B. (1996). SUS-A quick and dirty usability scale.

- Usability Evaluation in Industry* (189 Vol. 194, pp. 4-7).
- Chen, Y., Fanchiang, H. D., & Howard, A. (2018). Effectiveness of Virtual Reality in Children With Cerebral Palsy: A Systematic Review and Meta-Analysis of Randomized Controlled Trials. *Physical Therapy*, 98(1), 63-77. <https://doi.org/10.1007/s11042-019-7309-x>
- Coelho, H., Melo, M., Martins, J., & Bessa, M. (2019). Collaborative immersive authoring tool for real-time creation of multisensory VR experiences. *Multimedia Tools and Applications*, 78(14), 19473-19493. <https://doi.org/10.1093/ptj/pzx107>
- Como, G., Bouchard, S., & Forget, H. (2014). Usability Assessment of the Virtual Multitasking Test (V-MT) for Elderly People. *Studies In Health Technology And Informatics*, 199, 168-172.
- Davis, S., Nesbitt, K., & Nalivaiko, E. (2014). A Systematic Review of Cybersickness. *Proceedings of the 2014 Conference on Interactive Entertainment - IE2014*, 1-9. <https://doi.org/10.1145/2677758.2677780>
- Denisova, A., Nordin, A. I., & Cairns, P. (2016). The convergence of player experience questionnaires. *Proceedings of the 2016 Annual Symposium on Computer-Human Interaction in Play*, 33-37 <https://doi.org/10.1145/2967934.2968095>
- Díaz, I. A., Reche, M. P. C., Torres, J. M. T., & Rodríguez, J. M. R. (2019). Impacto de las apps móviles en la actividad física: Un meta-análisis (Impact of mobile apps on physical activity: A meta-analysis). *Retos*, 36(36), 52-57. <https://recyt.fecyt.es/index.php/retos/article/view/66628>
- Duque, G., Boersma, D., Loza-Díaz, G., Hassan, S., Suarez, H., Geisinger, D., Suriyaarachchi, P., Sharma, A., & Demontiero, O. (2013). Effects of balance training using a virtual-reality system in older fallers. *Clinical Interventions in Aging*, 8, 257-263. <https://doi.org/10.2147/CIA.S41453>
- Espay, A. J., Baram, Y., Dwivedi, A. K., Shukla, R., Gartner, M., Gaines, L., Duker, A. P., & Revilla, F. J. (2010). At-home training with closed-loop augmented-reality cueing device for improving gait in patients with Parkinson disease. *The Journal of Rehabilitation Research and Development*, 47(6), 573. <https://doi.org/10.1682/JRRD.2009.10.0165>
- Heredia, N. M., Rodríguez, E. S., & Rodríguez-García, A.-M. (2020). Beneficios de la actividad física para la promoción de un envejecimiento activo en personas mayores. Revisión bibliográfica (Benefits of physical activity for the promotion of active aging in elderly. Bibliographic review). *Retos*, 0(39), Article 39. <https://recyt.fecyt.es/index.php/retos/article/view/74537>
- Hoehn, M. M., & Yahr, M. D. (1967). Parkinsonism: Onset, progression and mortality. *Neurology*, 17(5), 427-442. <https://doi.org/10.1212/wnl.17.5.427>
- Howes, S., Charles, D., Holmes, D., Pedlow, K., Wilson, I., & McDonough, S. (2017). Older adults' experience of falls prevention exercise delivered using active gaming and virtual reality...Abstracts from Physiotherapy UK Conference 2017, Birmingham, UK, 10-11 November 2017a. *Physiotherapy*, 103, e4-e5. <https://doi.org/10.1016/j.physio.2017.11.155>
- Ijsselstein, W. A., de Kort, Y. A. W. & Poels, K. (2013). The Game Experience Questionnaire. *Eindhoven: Technische Universiteit Eindhoven*.
- Kennedy, R. S., Drexler, J., & Kennedy, R. C. (2010). Research in visually induced motion sickness. *Applied Ergonomics*, 41(4), 494-503. <https://doi.org/10.1016/j.apergo.2009.11.006>
- Kennedy, R. S., Lane, N. E., Berbaum, K. S., & Lilienthal, M. G. (1993). Simulator Sickness Questionnaire: An Enhanced Method for Quantifying Simulator Sickness. *The International Journal of Aviation Psychology*, 3(3), 203-220. https://doi.org/10.1207/s15327108ijap0303_3
- Kim, A., Darakjian, N., & Finley, J. M. (2017). Walking in fully immersive virtual environments: An evaluation of potential adverse effects in older adults and individuals with Parkinson's disease. *Journal of Neuroengineering and Rehabilitation*, 14(1), 16. <https://doi.org/10.1186/s12984-017-0225-2>
- Lawson, B.D., Graeber, D.A., Mead, A.M., & Muth, E.R. (2002). Signs and symptoms of human syndromes associated with synthetic experiences. *Handbook of virtual environments: Design, implementation, and applications*, 589-618.
- Murray CD, Pettifer S, Howard T, Patchick EL, Caillette F, Kulkarni J, & Bamford C. (2007). The treatment of phantom limb pain using immersive virtual reality: Three case studies. *Disability & Rehabilitation*, 29(18), 1465-1469. [cin20. https://doi.org/10.1080/09638280601107385](https://doi.org/10.1080/09638280601107385)
- Pargaonkar, A., Mishra, W., & Kadam, S. (2019). A Study on Elderly Individuals' Attitude Towards ICTs. En A. Chakrabarti (Ed.), *Research into Design for a Connected World* (pp. 723-734). Springer Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-13-5977-4_61
- Phu, S., Vogrin, S., Al Saedi, A., & Duque, G. (2019). Balance training using virtual reality improves balance and physical performance in older adults at high risk of falls. *Clinical Interventions in Aging*, 14, 1567-1577. <https://doi.org/10.2147/CIA.S220890>
- Rebenitsch, L., & Owen, C. (2016). Review on cybersickness in applications and visual displays. *Virtual Reality*, 20(2), 101-125. <https://doi.org/10.1007/s10055-016-0285-9>
- Roberts, A. R., De Schutter, B., Franks, K., & Radina, M. E. (2019). Older Adults' Experiences with Audiovisual Virtual Reality: Perceived Usefulness and Other Factors Influencing Technology Acceptance. *Clinical Gerontologist*, 42(1), 27-33. [cin20. https://doi.org/10.1080/07317115.2018.1442380](https://doi.org/10.1080/07317115.2018.1442380)
- Robles-García, V., Arias, P., Sanmartín, G., Espinosa, N., Flores, J., Grieve, K. L., & Cudeiro, J. (2013). Motor facilitation during real-time movement imitation in Parkinson's disease: A virtual reality study. *Parkinsonism & Related Disorders*, 19(12), 1123-1129. [cin20. https://doi.org/10.1016/j.parkreldis.2013.08.005](https://doi.org/10.1016/j.parkreldis.2013.08.005)
- Trombetta, M., Bazzanello Henrique, P. P., Brum, M. R., Colussi, E. L., De Marchi, A. C. B., & Rieder, R. (2017). Motion Rehab AVE 3D: A VR-based exergame for post-stroke rehabilitation. *Computer Methods And Programs In Biomedicine*, 151, 15-20. <https://doi.org/10.1016/j.cmpb.2017.08.008>
- Warland, A., Paraskevopoulos, I., Tsekleves, E., Ryan, J., Nowicky, A., Griscti, J., Levings, H., & Kilbride, C. (2019). The feasibility, acceptability and preliminary efficacy of a low-cost, virtual-reality based, upper-limb stroke rehabilitation device: A mixed methods study. *Disability and Rehabilitation*, 41(18), 2119-2134. <https://doi.org/10.1080/09638288.2018.1459881>
- Yildirim, C. (2019). Don't make me sick: Investigating the incidence of cybersickness in commercial virtual reality headsets. *Virtual Reality*. <https://doi.org/10.1007/s10055-019-00401-0>