

Reducción de efectos adversos neurológicos inducidos en entornos de realidad virtual

CreMASchi Fabián¹, Vega Israel², Duca Enzo¹, Fausti Renzo¹, Glantz Martín¹, Nuñez Víctor¹, Formica Saieg Pablo³, Aguilera Fabricio³, Fornés Rafael⁴.

¹Área de Neurología Clínica y Quirúrgica. Departamento de Neurociencias. Facultad de Ciencias Médicas – Universidad Nacional de Cuyo. Mendoza. Argentina.

²Área de Fisiología Normal. Instituto de Fisiología. Facultad de Ciencias Médicas – Universidad Nacional de Cuyo. Mendoza. Argentina.

³Área de Anatomía Normal. Departamento de Morfofisiología. Facultad de Ciencias Médicas – Universidad Nacional de Cuyo. Mendoza. Argentina.

⁴Investigador independiente. Mendoza. Argentina.

Correo electrónico de contacto: fabian.cremaschi@gmail.com

Recibido: 20 de Octubre de 2020 - Aceptado: 9 de Noviembre de 2020

RESUMEN

Introducción: presentamos un método para disminuir los síntomas del *cybersickness*, y de esta forma, mejorar la experiencia del entorno de realidad virtual (RV).

Objetivo: Analizar los efectos de la vibración sobre el área temporal, en la reducción de la sintomatología del *cybersickness* inducido en un entorno de realidad virtual (RV).

Materiales y Métodos: Una muestra de 40 individuos jóvenes, de ambos sexos y sanos, fue sometida a pruebas de RV mediante gafas Oculus Rift DK1 modificadas con un dispositivo anti mareo (DAM) fabricado *ad-hoc* por uno de los autores del presente trabajo (RJF).

Resultados: El grupo A mostró una media de índice de mareo $M = 7,1 DS \pm 0,5$, luego de la exposición al entorno virtual sin DAM (s/V). El índice disminuyó significativamente a $M = 4,9, DS \pm 0,5$ cuando la exposición al entorno virtual se realizó en presencia del DAM (c/V).

Conclusión: Los resultados demuestran una disminución significativa de los síntomas cuando los individuos utilizan el DAM luego de haber realizado una primera prueba de RV en la que se presentaron síntomas de *cybersickness*.

Palabras claves: Cybersickness. Enfermedad del movimiento. Neurociencias. Neurología. Neurotecnología. Realidad virtual.

ABSTRACT

Reduction of adverse neurological effects induced in virtual reality environments

Introduction: We present a method to decrease the symptoms of *cybersickness*, and thus improve the experience of the virtual reality (VR) environment.

Objective: To analyze the effects of vibration on the temporal area, in the reduction of the symptomatology of *cybersickness* induced in a virtual reality (VR) environment.

Materials and Methods: A sample of 40 young individuals, of both sexes and healthy, was tested for VR using Oculus Rift DK1 glasses modified with an anti-dizziness device (AAD) manufactured by one of the authors of this paper.

Results: Group A showed a mean dizziness index $M = 7.1 DS \pm 0.5$, after exposure to the virtual environment without AAD (s/V). The index decreased significantly to $M = 4.9, SD \pm 0.5$ when exposure to the virtual environment was performed in the presence of AAD (c/V).

Conclusion: The results show a significant decrease in symptoms when individuals use MAD after a first VR test with symptoms of *cybersickness*.

Keywords: Cybersickness. Movement disease. Neurosciences. Neurology. Neurotechnology. Virtual reality.

Introducción

La realidad virtual (RV) es un entorno de apariencia real generado mediante un software de computación y emitido a través de monitores montados en gafas o en cascos personales que, mediante una lente, proporcionan una imagen 2D a cada ojo con distinto ángulo en cada pantalla para generar una visión estereoscópica. Éste proyecta la totalidad de la imagen a la retina cubriendo completamente el ángulo de visión de cada ojo, con lo cual la persona tiene la sensación de estar inmerso en dicho entorno [1]. Los dispositivos de RV pueden estar acompañados de auriculares, guantes o trajes que permiten mayor estimulación y sensación de inmersión en la realidad virtual.

El uso de la RV comenzó para videojuegos pero actualmente se está utilizando para rehabilitación y tratamiento de patología neurológica [2,3,4].

Las gafas de RV se utilizan en los laboratorios hace más de 20 años, pero el auge comenzó en 2013, con la introducción de las gafas Oculus Rift® (Oculus VR®, Irvine, California, Estados Unidos), un producto de Facebook® (Menlo Park, California, Estados Unidos), que representa una nueva generación de dispositivos de RV, superando sistemas anteriores, como el Virtual Boy de NINTENDO®, SEGA CD®, 32X® y Cinemizer OLED® de Carl Zeiss® (Oberkochen, Alemania) [5]. El sistema de RV de Facebook incluye cualidades de software que determinan la profundidad de la imagen y, por lo tanto, su calidad. Estas cualidades son la perspectiva curvilínea (líneas rectas que convergen a medida que se extienden en la distancia), la escala relativa (objetos más pequeños a mayor distancia), la oclusión (objetos cercanos bloquean la visión de objetos distantes), la perspectiva aérea (objetos distantes se muestran más difusos que los cercanos debido a las propiedades refractivas de la atmósfera) e iluminación (el uso de sombras ayuda a percibir formas y posición de los objetos) [6].

Sin embargo, persiste un problema como consecuencia de la desincronización de la información obtenida entre el sistema visual y el sistema del equilibrio. Esto ocurre cuando observamos imágenes con mucho movimiento o aceleraciones visuales a través de las gafas de

RV[7], generando diversos malestares inespecíficos[8]. Estos efectos indeseados, observados entre un 60 y 80% de usuarios de RV[1,9,10], consisten en cefalea, náuseas, fatiga ocular, oscilaciones corporales, inestabilidad e ilusión de movimiento que son referidos como una “sensación de mareo”, que algunos autores la denominan *cybersickness* [11,12,13].

La susceptibilidad de algunas personas puede ser el resultado de la experiencia global de cada individuo frente a sensaciones de mareo, además de la experiencia previa con la RV[6,13,14]. Se observa variabilidad entre los individuos[13], cuyas manifestaciones se objetivan mediante cuestionarios estandarizados, como el de Graybiel y Hamilton [15] y MAUVE (*Multi-criteria Assessment of Usability for Virtual Environments*) [16].

Fisiopatología de la *cybersickness*

La RV ha tenido diversas limitaciones debido a los efectos indeseados que se producen en algunas personas durante (*side effects*) y después (*after effects*) de la experiencia virtual [17,18]. Dichos

efectos se asemejan a la sensación de inestabilidad producida al navegar en el mar [6,11,13], por lo cual se ha denominado “enfermedad del movimiento” o “enfermedad de la realidad virtual” o “*cybersickness*”. Su etiología es compleja[5,19,20,21], y se postula que esta surgiría del conflicto de los tres principales sistemas sensoriales del organismo involucrados en el equilibrio: visual, vestibular y propioceptivo [11,22,13]. Numerosos factores contribuyen al efecto denominado *cybersickness*: aceleración, duración del uso del simulador, altitud que alinea el campo visual con el terreno de la imagen, disparidad binocular, campo visual, latencia de la imagen al girar la cabeza y experiencia previa del usuario [6]. Los receptores vestibulares son acelerómetros, miden la aceleración con que nos movemos, cuando después de un tiempo la aceleración se mantiene constante (más de 30 segundos), la endolinfa alcanza la velocidad de los canales óseos y deja de producir la deflexión de la cúpula, entonces los receptores de los canales dejan de dar información de aceleración al sistema y regresan a su tono de base [23].

Existe una considerable superposición entre los procesos de orientación espacial y control postural. Tanto los sistemas visuales, como el propioceptivo y vestibular, operan en niveles motores espinales y perceptuales–corticales [24]. En sujetos normales, cualquier conflicto entre las diferentes aferencias sensoriales hacia los núcleos vestibulares, es transitorio y se resuelve rápidamente, generalmente a favor de la sensación laberíntica, pero en algunas situaciones el sentido de la vista puede dominar inapropiadamente al receptor vestibular y provocar sensaciones falsas de movimiento. El balance corporal en bipedestación se ve afectado por las diferentes posiciones de la cabeza y por el entorno visual [23].

Es necesaria una correcta y sincrónica retroalimentación entre el sistema visual, el vestibular y el propioceptivo, para evitar los efectos indeseados [11,25]. Sin embargo, el sistema visual es relativamente lento en comparación con el vestibular para sensar el plano y la posición del cuerpo en el espacio, debido a que depende del movimiento ocular, entre otros factores. El sistema vestibular, con menor latencia, censa aceleraciones, tanto angular como lineal [24,25] y, junto con la propiocepción y el sistema visual, permite estimar la orientación corporal [26].

La integración de señales visuales y vestibulares es óptima en personas sanas en condiciones naturales.[6] Sin embargo, cuando estamos expuestos a un movimiento simultáneo de imágenes y planos, como oscilar en un barco, o cuando el movimiento visual no es acompañado por un movimiento físico autogenerado, como sucede en los sistemas de RV, las respuestas del sistema nervioso no son siempre las óptimas. Como en cualquier sistema de retroalimentación, una señal de error desde la vía visual o vestibular es utilizada por el sistema nervioso para dar una respuesta o adaptación que lleve a un estado posicional deseado. Se asume que esta señal de error entre el sistema visual y el vestibular (*Sensory Conflict Theory*) es la etiología de la enfermedad del movimiento o *cybersickness* [6,25,27].

Cuando el movimiento de la endolinfa se mantiene constante, desaparece la diferencia de presiones a nivel de los receptores y, por lo tanto, solo predomina la información brindada por el sistema visual [13,24,26].

Ya que la estimulación vestibular es esencial para que se produzcan los síntomas, todos los agentes que tienen algún efecto supresor central o periférico vestibular serán eficaces en la prevención o el tratamiento activo de *cybersickness* [13,22].

En base a este conocimiento, la estimulación vestibular constante mediante vibración a baja frecuencia produciría un movimiento uniforme de la endolinfa con velocidad constante, suprimiendo la descarga de los receptores. Así, al no producirse la descarga de los receptores del sistema vestibular, predomina la información brindada por el sistema visual.

Nuestra hipótesis sugiere que la inhibición de señales vestibulares mediante estimulación permanente por vibración de baja frecuencia, reduce los síntomas causados por RV.

Por lo que nuestro objetivo es analizar los efectos de la vibración sobre el área temporal, en la reducción de la sintomatología del *cybersickness* inducido en un entorno de realidad virtual (RV).

Materiales y Métodos

En base al conocimiento de la latencia que presenta el sistema visual, estimulamos constantemente el sistema vestibular mediante el DAM (Dispositivo Anti Mareo), fabricado por uno de los autores (JRF). Este dispositivo se colocó en la región temporal vibrando a baja frecuencia para inhibir las señales vestibulares, priorizando la información visual y disminuyendo los efectos indeseados de RV. En la Tabla 1 se detallan las especificaciones técnicas del equipamiento utilizado.

Especificaciones técnicas de las gafas Oculus Rift VR, modelo: Development kit-DK1.

Fabricante: Oculus VR, California, EEUU. Fundador: Palmer Luckey. Ver Tabla 1.

Información del software utilizado para crear el entorno de RV: Oculus Tuscany DEMO. Desarrollador: Oculus VR®. Modo de juego: Single [28] (Imagen 1).

Se utilizó una muestra de $n=40$ con los siguientes criterios de inclusión: voluntarios sanos, de ambos sexos, entre 18 y 23 años, sin patología neurológica o vestibular previa al estudio, que hayan firmado el consentimiento informado. Criterios de exclusión: individuos que no deseaban firmar el consentimiento informado, trastornos neurológicos de cualquier tipo, incluyendo migraña, diagnóstico clínico de síndrome vertiginoso, hipoacusia de conducción, de percepción o mixta, marcha inestable o disbásica por alteración neurológica y/o traumática y/u ortopédica y todos aquellos individuos que hayan sufrido algún proceso patológico cuya sintomatología se manifiesta con disminución temporal o permanente de la audición, de la visión o alteraciones en el equilibrio, marcha y postura.

Los 40 voluntarios, distribuidos en 4 grupos de estudio, con 10 individuos en cada uno (5 de cada sexo), permanecieron de pie usando las gafas de RV. Se ejecutaron 2 sesiones de 10 minutos cada una. En cada sesión, 5 minutos se destinaron al reconocimiento del entorno de RV y otros 5 minutos al ascenso y descenso virtual de la escalera, 2 veces consecutivas, utilizando el software ya descrito. Los grupos se dividieron teniendo en cuenta el uso o no del DAM en cada sesión, la distribución se detalla en la Tabla 2.

Para objetivar los síntomas que surgen producto del entorno de RV, se utilizó una tabla de asistencia para el diseño de equipos de RV denominada MAUVE (*Multi-criteria Assessment of Usability for Virtual Environments*)^[16]. Estos criterios fueron modificados para este trabajo, debido a que no se emplearon otro tipo de estímulos (táctiles, auditivos) contemplados en la tabla original. Responder este cuestionario llevó aproximadamente 5 minutos al final de cada sesión. Primero se interrogó si el usuario percibió mareo (*cybersickness*) durante la prueba. En caso afirmativo, se calificó con un "Índice de Mareo" del 1 al 10, siendo 10 el máximo valor. Se excluyeron los individuos que no percibieron ninguna sintomatología (MAUVE = 0).

El análisis estadístico se realizó con el test pareado de Wilcoxon usando GraphPad Prism® ver. 5.00 (GraphPad Software, San Diego California, USA)^[29] para Windows®.

Resultados

El grupo A demostró una media de índice de mareo $M = 7,1$ $DS \pm 0,5$, luego de la exposición al entorno virtual sin DAM (s/V). El índice disminuyó significativamente a $M = 4,9$, $DS \pm 0,5$ cuando la exposición al entorno virtual se realizó en presencia del DAM (c/V). (Test Wilcoxon pareado). Los grupos B, C y D, no presentaron diferencia estadísticamente significativa.

Se correlaciona el valor del índice de mareo con las pruebas de RV sin DAM (prueba RV sin vibración, s/V) y pruebas de RV con DAM (prueba RV con vibración, c/V). Gráfico 1.

Discusión

Los entornos virtuales permiten una experiencia similar a la vida real sin los potenciales riesgos o costos económicos. Esta nueva tecnología avanza sobre diversas áreas, en especial la medicina^[30] ya que permitiría llevar a cabo técnicas y procedimientos en forma segura. La RV participa en la rehabilitación de enfermedades como accidente cerebrovascular^[3], cáncer, Enfermedad de Alzheimer^[31], Enfermedad de Parkinson^[2] y diabetes con afectación motora^[3,4]. También se

ha empleado en el tratamiento de trastornos de ansiedad^[32], trastorno de estrés posttraumático (TEPT)^[33], pacientes pediátricos con encefalopatía crónica no evolutiva^[34,35] e incluso es utilizada en la terapia del dolor y manejo del estrés^[36,37]. Además, se han realizado estudios preliminares que apoyan el uso de la terapia de RV para mejorar la capacidad física de los adultos mayores^[38]. El único grupo donde se observa diferencia a favor de una disminución de la sintomatología es cuando la población de individuos expuestos a RV sin DAM recibió en una segunda oportunidad exposición virtual con DAM. En futuras investigaciones, se podría incrementar la población estudiada.

Podemos concluir que estos resultados sugieren que la incorporación procedimental de un DAM, adosado a las gafas Oculus Rift VR DK1, podría ser de utilidad para corregir la sintomatología negativa asociada al uso del entorno virtual, permitiendo el uso en una población más amplia.

Conflicto de intereses

Los autores declaran estar libres de cualquier asociación personal o comercial que pueda

suponer un conflicto de intereses en conexión con el artículo remitido.

Referencias bibliográficas

1. Helmet Mounted Sights and Displays [Internet]. Ausairpower.net. 2020 [citado el 20 Octubre 2020]. Disponible en: <http://www.ausairpower.net/hmd-technology.html>
2. Li R, Peterson N, Walter H, Rath R, Curry C, Stoffregen T. Real-time visual feedback about postural activity increases postural instability and visually induced motion sickness. *Gait & Posture*. 2018; 65: 251-255.
3. Deutsch J. Using virtual reality to improve walking post-stroke: translation to individuals with diabetes. *J Diabetes Sci Technol*. 2011; 5(2): 309-314.
4. Ng Y, Chew E, Samuel G, Tan Y, Kong K. *Advances in rehabilitation medicine*. Singapore Med J. 2013; 54(10): 538-551.
5. Lara G, Santana A, Lira A, Peña A. El desarrollo del hardware para la realidad virtual. *RISTI - Revista Ibérica de Sistemas e Tecnologías de Informação*. 2019; (31): 106-117.
6. Facebook Technologies LLC. Oculus Rift VR. Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office; Patent N°US 9063330, 2015.
7. Dourado A, Martin C. New concept of dynamic flight simulator, Part I. *Aerospace Sci Tech*. 2013; 30(1): 79-82.
8. Padmanaban N, Ruban T, Sitzmann V, Norcia A, Wetzstein G. Towards a machine-learning approach for sickness prediction in 360° stereoscopic videos. *Trans Vis Comput Grap*. 2018; 24(4): 1594-1603.
9. Ling Y, Brinkman W, Nefs H, Qu C, Heynderickx I. Effects of stereoscopic viewing on presence, anxiety, and cybersickness in a virtual reality environment for public speaking. *Virtual Environ*. 2012; 21(3): 254-267.
10. Sharples S, Cobb S, Moody A, Wilson J. Virtual reality induced symptoms and effects (VRISE): Comparison of head mounted display (HMD), desktop and projection display systems. *Displays*. 2008; 29(2): 58-69.
11. Mahwah P. Virtual environment usage protocols. En: Stanney K, Hale K, eds. by. 2.ª ed. Boca Ratón, Florida, Estados Unidos: CRC Press; 2020. pp. 797–870.
12. Davis S, Nesbitt K, Nalivaiko E. Comparing the onset of cybersickness using the Oculus Rift and two virtual roller coasters. In *Proceedings of the 11th Australasian Conference on Interactive Entertainment (IE 2015)*. 2015.
13. Schmääl F. Neuronal mechanisms and the treatment of motion sickness. *Pharmacology*. 2013; 91(3-4): 229–241.
14. Domeyer JE, Cassavaugh ND, Backs RW. The use of adaptation to reduce simulator sickness in driving assessment and research. *Accid Anal. Prev*. 2013; 53: 127–132.
15. Nishiike S, Okazaki S, Watanabe H, Akizuki H, Imai T, Uno A et al. The effect of visual-vestibule-somatosensory conflict induced by virtual reality on postural stability in humans. *J Clin Invest*. 2013; 60(3.4): 236-239.
16. Stanney K, Mollaghasemi M, Reeves L, Breaux R, Graeber D. Usability engineering of virtual environments (VEs): identifying multiple criteria that drive effective VE system design. *Int J Hum Comput Stud*. 2003; 58(4): 447-481.
17. Hoffman H, Chambers G, Meyer W, Arceneaux L, Russell W, Seibel E et al. Virtual reality as an adjunctive non-pharmacologic analgesic for acute burn pain during medical procedures. *Ann Behav Med*. 2011; 41(2): 183-191.
18. Lefrançois C, Messier J. Adaptation and spatial generalization to a triaxial visuomotor perturbation in a virtual reality environment. *Exp Brain Res*. 2019; 237: 793–803.
19. Bonato F, Bubka A, Palmisano S. Combined pitch and roll and cybersickness in a virtual environment. *Aviat Space Environ Med*. 2009; 80: 941–945.
20. Luque-Moreno C, Ferragut-Garcías A, Rodríguez-Blanco C, Heredia-Rizo AM, Oliva-Pascual-Vaca, Kiper P, et al. A decade of progress using virtual reality for poststroke lower extremity rehabilitation: systematic review of the intervention methods. *Biomed Res Int*. 2015; 2015: 342529. Disponible en: <https://doi.org/10.1155/2015/342529>
21. Robert P, Benoit M, Rachid G, Pierre-David P, Emmanuelle C, Valeria M, et al. Is it possible to use highly realistic virtual reality in the elderly? A feasibility study with image-based rendering. *Neuropsych Dis Treat*. 2015; 11(3): 557- 563.

22. Oman CM, Cullen KE. Brainstem processing of vestibular sensory exafference: implications for motion sickness etiology. *Exp Brain Res.* 2014; 232(8): 2483–2492.
23. Binetti A. Fisiología vestibular. *Revista FASO.* 2015; 22: 14–21.
24. Cullen KE. The vestibular system: multimodal integration and encoding of self-motion for motor control. *Trends Neurosci.* 2012; 35(3): 185–196.
25. Li R, Peterson N, Walter HJ, Rath R, Curry C, Stoffregen TA. Real-time visual feedback about postural activity increases postural instability and visually induced motion sickness. *Gait Posture.* 2018; 65: 251–255.
26. Chiba R, Takakusaki K, Ota J, Yosui A, Haga N. Human upright posture control models based on multisensory inputs; in fast and slow dynamics. *Neurosci Res.* 2016; 104: 96–104.
27. Gallagher M, Ferrè ER. Cybersickness: a multisensory integration perspective. *Multisens Res.* 2018; 31(7): 645–674.
28. Oculus [Internet]. Developer.oculus.com. 2020 [citado 20 de Octubre de 2020]. Disponible en: <https://developer.oculus.com/documentation/p-csdk/0.5/concepts/gsg-intro-oneworld/>
29. Prism for Windows (5.00). GraphPad Software; 2007. Disponible en: www.graphpad.com
30. Li L, Yu F, Shi D, Shi J, Tian Z, Yang J, et al. Application of virtual reality technology in clinical medicine. *Am. J. Transl. Res.* 2020; 9(9): 3867–3880.
31. White PJF, Moussavi Z. Neurocognitive treatment for a patient with Alzheimer's disease using a virtual reality navigational environment. *J Exp Neurosci.* 2016; 10: 129-135.
32. Page S, Coxon M. Virtual reality exposure therapy for anxiety disorders: Small samples and no controls? *Front Psychol.* 2016; 7: 326. Disponible en: <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2016.00326>
33. Gonçalves R., Pedrozo AL., Coutinho ES, Figueira I, Ventura P. Efficacy of virtual reality exposure therapy in the treatment of PTSD: a systematic review. *PloS One.* 2012; 7(12): e48469. Disponible en: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0048469>
34. Díez-Alegre M, Muñoz-Hellín E. Empleo de sistemas de realidad virtual sobre la extremidad superior en niños con parálisis cerebral. Revisión de la literatura. *Fisioterapia.* 2013; 35(3): 119–125.
35. Del Castillo M, Serrano J, Lerma S, Martínez I, Rocón de Lima E. Evaluación neurofisiológica del entrenamiento de la imaginación motora con realidad virtual en pacientes pediátricos con parálisis cerebral. *RIAI.* 2018; 15(2): 174. Disponible en: <https://doi.org/10.4995/riai.2017.8819>
36. Jones T, Moore T, Choo J. The impact of virtual reality on chronic pain. *PloS One.* 2016; 11(12): e0167523. Disponible en: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0167523>
37. Pourmand A, Davis S, Marchak A, Whiteside T, Sikka N. Virtual reality as a clinical tool for pain management. *Curr Pain Headache Rep.* 2018; 22(8): 53. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s11916-018-0708-2>
38. Miller KJ, Adair BS, Pearce AJ, Said CM, Ozanne E, Morri MM. Effectiveness and feasibility of virtual reality and gaming system use at home by older adults for enabling physical activity to improve health-related domains: a systematic review. *Age Ageing.* 2014; 43(2): 188–195.

Tabla 1. Especificaciones técnicas del DAM

Aceleración	5.2m/s ²
Velocidad	7mm/s
Desplazamiento	0.8mm
Frecuencia de vibración	4.375Hz
Error	+/-5%

Medido a 23º C con SMART SENSOR Modelo nº AR63B. Vibration Meter. Nº de serie: 01360792 ISO13485 ISO9001.

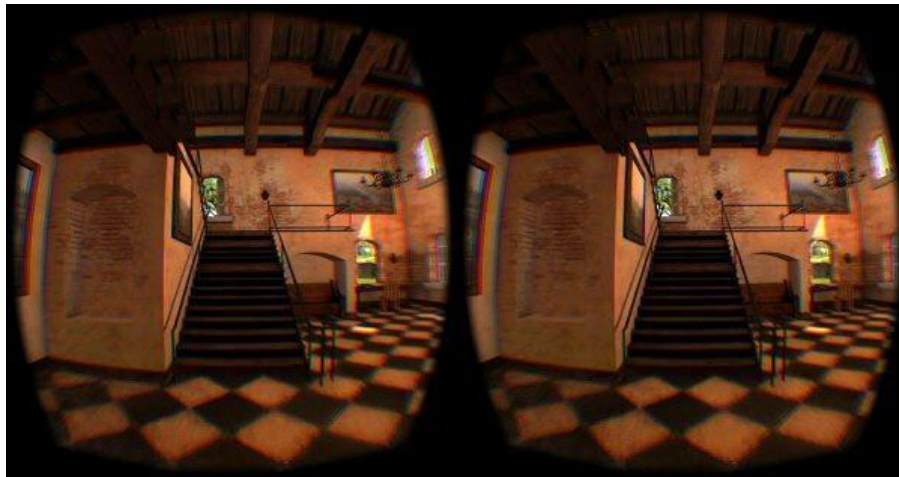


Imagen 1. Captura de pantalla DEMO Oculus Tuscany

Tabla 2. Distribución de individuos según grupos y uso del DAM.

GRUPOS	SESIONES	
	Sin DAM	Con DAM
A	Sin DAM	Con DAM
B	Con DAM	Sin DAM
C	Con DAM	Con DAM
D	Sin DAM	Sin DAM

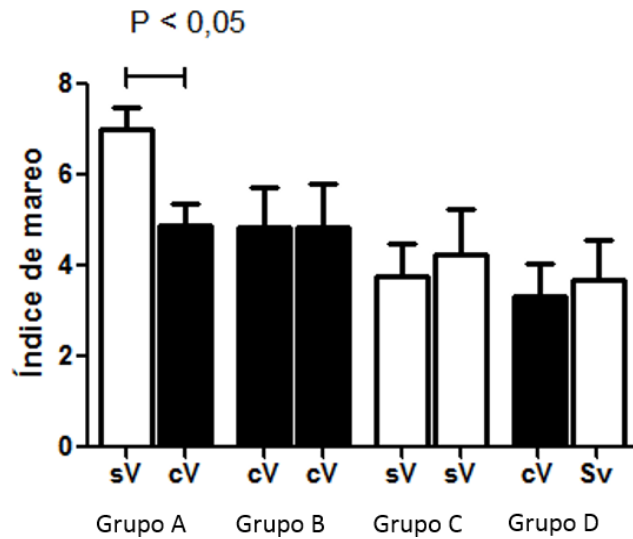


Gráfico 1. Correlación del valor del índice de mareo con las pruebas de RV sin DAM (prueba RV sin vibración, s/V) y pruebas de RV con DAM (prueba RV con vibración, c/V).