

Uso de la realidad virtual inmersiva en la rehabilitación cognitiva de pacientes con daño cerebral.

Revisión sistemática

Èlia Vilageliu-Jordà, Antonia Enseñat-Cantallos, Alberto García-Molina

Introducción. La realidad virtual (RV) es una herramienta terapéutica ampliamente utilizada en la rehabilitación cognitiva de pacientes con daño cerebral. En función de su grado de inmersividad, se puede diferenciar entre RV no inmersiva, semiinmersiva e inmersiva. Los estudios que valoran la utilidad de la RV se han centrado en las modalidades no inmersiva y semiinmersiva. Apenas se dispone de evidencias sobre la eficacia de la RV inmersiva.

Objetivo. Describir las características, la calidad metodológica y los principales resultados de los estudios que han aplicado programas de RV inmersiva en la rehabilitación cognitiva de pacientes con daño cerebral.

Materiales y métodos. Siguiendo las directrices PRISMA, se realizó una búsqueda bibliográfica de los trabajos publicados en las bases de datos PubMed y PsycINFO. La calidad metodológica de los artículos que cumplían los criterios de selección se evaluó mediante la escala PEDro.

Resultados. Tras aplicar los criterios de inclusión y exclusión, de los 369 artículos potencialmente interesantes, cinco cumplieron los criterios de elegibilidad. Uno de ellos era un ensayo clínico aleatorizado (con una calidad metodológica aceptable/buena). Tres correspondían a estudios con medidas pre- y postratamiento y uno a un estudio de caso único, los cuatro con una calidad metodológica pobre.

Conclusiones. De acuerdo con los resultados obtenidos, no hay evidencias de la eficacia ni de la utilidad de la RV inmersiva en la rehabilitación cognitiva en pacientes con daño cerebral. Este hallazgo se explica por la falta de estudios con un diseño metodológico que permita generar evidencias de calidad y no porque los resultados obtenidos en los artículos analizados sean negativos o no concluyentes.

Palabras clave. Cognición. Daño cerebral adquirido. Inmersividad. Realidad virtual. Rehabilitación. Tratamiento.

Introducción

La realidad virtual (RV) se define como la simulación (generada por ordenador) de un entorno o una actividad mediante la estimulación, en tiempo real, de uno o varios canales sensoriales. Tal situación permite que el usuario interactúe con la simulación como si estuviera en un entorno real [1,2].

La RV se articula a partir de cuatro características cardinales: inmersión, presencia, interactividad y verosimilitud. La inmersión es el aspecto que permite transmitir una ilusión de realidad al sujeto (está vinculado a la tecnología que se utiliza para crear entornos de RV). La presencia hace referencia a la sensación de estar inmerso en un mundo virtual. La interactividad se define como la capacidad de interactuar con los elementos del entorno virtual. Finalmente, la verosimilitud comporta que la ilusión generada informáticamente sea fidedigna a la realidad [2,3].

En función del grado de inmersividad, es posible diferenciar entre RV no inmersiva, semiinmersiva e

inmersiva. Esta diferenciación depende del grado de aislamiento del mundo físico que la tecnología es capaz de proporcionar al usuario cuando interactúa con el entorno virtual. En la RV no inmersiva y semiinmersiva, el usuario percibe al mismo tiempo el entorno real y el entorno virtual. Esta sensación se puede experimentar con videojuegos o con tecnologías más avanzadas, como, por ejemplo, sistemas de proyección 3D. En la RV inmersiva, el sujeto se sumerge completamente en el entorno virtual, minimizando la influencia perceptiva del mundo exterior (entorno real). Esta sensación de inmersividad puede lograrse a través de gafas de realidad virtual (en inglés, *Head-Mounted Display*) o salas de seis paredes (denominadas en inglés *CAVE*) [1-4].

A finales de la década de los noventa y principios de este milenio, varios estudios resaltan la importancia de introducir instrumentos de evaluación e intervención relevantes para el paciente, que permitan transferir las habilidades aprendidas a su vida cotidiana [5,6]. En este contexto, la RV reúne diversas particularidades que la erigen como una

Institut Guttmann. Institut Universitari de Neurorehabilitació-UAB (È. Vilageliu-Jordà, A. Enseñat-Cantallos, A. García-Molina). Fundació Institut d'Investigació en Ciències de la Salut Germans Trias i Pujol. Badalona, Barcelona (È. Vilageliu-Jordà, A. Enseñat-Cantallos, A. García-Molina). Universitat Autònoma de Barcelona. Bellaterra, Barcelona, España (È. Vilageliu-Jordà, A. Enseñat-Cantallos, A. García-Molina). Centro de Estudios en Neurociencia Humana y Neuropsicología. Facultad de Psicología, Universidad Diego Portales. Santiago de Chile, Chile (A. García-Molina).

Correspondencia:

Dr. Alberto García Molina. Institut Universitari de Neurorehabilitació Guttmann-UAB. Camí de Can Ruti, s/n. E-08916 Badalona.

E-mail:

agarciam@guttmann.com

Aceptado tras revisión externa: 11.02.22.

Financiación:

Esta publicación es parte del proyecto de I+D+i PID2019-106426RA-C33, financiado/a por MCIN/AEI/10.13039/501100011033.

Conflicto de intereses:

No declarado.

Cómo citar este artículo:

Vilageliu-Jordà E, Enseñat-Cantallos A, García-Molina A. Uso de la realidad virtual inmersiva en la rehabilitación cognitiva de pacientes con daño cerebral. Revisión sistemática. Rev Neurol 2022; 74: 331-9. doi: 10.33588/rn.7410.2022034.

© 2022 Revista de Neurología

magnífica candidata [7]. En primer lugar, permite desarrollar un entorno de entrenamiento ecológico, dinámico y controlado, simulando situaciones que se asemejan bastante a las actividades de la vida diaria [7-11]. En segundo lugar, ofrece la posibilidad de crear actividades personalizadas para cada usuario, proporcionando así adaptabilidad y flexibilidad frente a las necesidades del paciente [2]. Por último, su componente lúdico aumenta el compromiso y la motivación de los usuarios [2,12]. Uno de los ejemplos más paradigmáticos del uso de la RV en la práctica clínica lo encontramos en las terapias de exposición para fobias específicas [13-17]. Ioannou et al [18] afirman que la RV puede utilizarse eficazmente para reducir la sintomatología ansiosa y depresiva, la fatiga y el dolor en diferentes contextos y enfermedades. También se ha contemplado su uso para la rehabilitación cognitiva en patologías psiquiátricas [19] y neurodegenerativas [20-22], y en la rehabilitación motora de pacientes con lesiones cerebrales [23-27].

Son numerosos los estudios que han utilizado la RV no inmersiva y semiinmersiva como herramienta de rehabilitación cognitiva en pacientes que han sufrido un ictus [3,28]. Se ha empleado, por citar algunos ejemplos, en las intervenciones dirigidas a la mejora de la negligencia espacial unilateral [29-32], así como de procesos atencionales, mnésicos, ejecutivos y visuoperceptivos [33-36]. En esta línea, la Federación Europea de Sociedades Neurológicas ofrece unas recomendaciones centradas en la rehabilitación de la memoria en las que concluyen que el uso de entornos virtuales ha mostrado efectos positivos en el aprendizaje verbal, visual y espacial, calificando el entrenamiento de la memoria en entornos virtuales como posiblemente eficaz (nivel de evidencia C, opinión de expertos) [37]. Asimismo, se ha explorado su utilidad en la rehabilitación cognitivo-conductual de pacientes con traumatismo craneoencefálico [38-41]. En la revisión sistemática de Maggio et al [42], se constata que la RV podría mejorar la atención, la memoria o las funciones ejecutivas, así como el comportamiento y el estado de ánimo. No obstante, la evidencia del uso de la RV en la rehabilitación cognitiva en pacientes que han sufrido un traumatismo craneoencefálico es escasa y no existe consenso sobre su efectividad [43]. En resumen, a nivel general, existen resultados preliminares de que el uso de la RV no inmersiva y semiinmersiva en pacientes con daño cerebral puede ayudar a mejorar las habilidades cognitivas alteradas, así como su rendimiento funcional en el mundo real. Sin embargo, se necesitan más estudios con una metodología robusta que permita valorar su efectividad [44].

Los estudios publicados sobre la RV como herramienta terapéutica en rehabilitación cognitiva se han centrado en valorar su utilidad en las modalidades no inmersiva y semiinmersiva. Apenas se dispone de información sobre la RV inmersiva. El objetivo de este estudio es revisar la bibliografía científica para identificar las características, la calidad metodológica y los principales resultados de los estudios que han aplicado la RV inmersiva en la rehabilitación cognitiva de pacientes con daño cerebral.

Materiales y métodos

Estrategia de búsqueda bibliográfica

Se realizó una búsqueda bibliográfica y selección sistemática de artículos cuyo objetivo principal era la aplicación de la RV inmersiva en la rehabilitación cognitiva de pacientes con daño cerebral. Esta búsqueda se efectuó utilizando las bases de datos PubMed y PsycINFO. No se limitó la búsqueda por ningún criterio temporal referente al año de publicación de los artículos. De tal forma, se efectuó sin fecha límite de partida y se extendió hasta marzo de 2021.

A continuación, se describe la combinación de los términos y los operadores booleanos AND y OR incluidos en la estrategia de búsqueda: (*virtual OR virtual reality*) AND (*traumatic brain injury OR stroke OR tumor OR neoplasm*) AND (*rehabilitation OR treatment OR intervention*) AND (*cognition OR cognitive OR memory OR attention OR executive functions*).

Criterios de selección de los estudios

Se seleccionaron estudios que examinaban los efectos de la RV inmersiva en la rehabilitación cognitiva en pacientes adultos con daño cerebral. Los criterios de inclusión fueron: a) artículos publicados en inglés o español; b) pacientes con daño cerebral adquirido; c) sujetos mayores de 18 años; d) estudios finalizados y publicados, y e) temática central del artículo relacionada con la RV inmersiva y la rehabilitación cognitiva.

Se excluyeron del análisis: a) artículos que incluyeran exclusivamente sujetos sanos; b) capítulos de libros, artículos de revisión u otros artículos que no contuvieran información original; c) revisiones o metaanálisis; d) estudios cuya temática central fuera el uso de la RV como herramienta de evaluación cognitiva; e) estudios cuya temática central fuera el uso de la realidad virtual en rehabilitación motora; f) intervenciones con realidad virtual semiinmersiva y no inmersiva; y g) artículos retractados.

La revisión sistemática se realizó aplicando la metodología propuesta desde la *Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses* [45].

Evaluación de la calidad metodológica

Se evaluó la calidad metodológica de los artículos que cumplían los criterios de inclusión mediante la versión validada en español de la escala PEDro, desarrollada por la *Physiotherapy Evidence Database* [46]. La escala PEDro consta de 11 ítems que valoran diversos aspectos relacionados con la validez externa e interna del estudio, así como de su interpretabilidad. En esta revisión sistemática se utilizaron todos los ítems, excepto el primero (criterios de selección), para calcular la puntuación total de esta escala. Por ese motivo, la máxima puntuación posible fue de 10 puntos. Se consideró la calidad metodológica de cada estudio en función de la clasificación propuesta por la *Evidence-Based Review of Acquired Brain Injury*: excelente (10-9 puntos en la escala PEDro); buena (8-6); aceptable (5-4); y pobre (<4) [47]. El nivel de evidencia se determinó según los niveles propuestos por Sackett et al [48] (Tabla I).

Dos de los autores de la revisión (E.V.J. y A.G.M.) evaluaron, de forma independiente y ciega, la calidad metodológica de los estudios incluidos en la revisión. El grado de acuerdo interevaluadores se determinó a partir del coeficiente de correlación intraclass. El cálculo del coeficiente de correlación intraclass se realizó con el *Free ICC-Reliability Calculator* [49].

Resultados

Descripción de los estudios

La revisión sistemática realizada en PubMed y PsycINFO arrojó un total de 369 resultados que encajaban con los criterios de búsqueda especificados (Figura). Tras eliminar las citas duplicadas, el número de artículos se redujo a 302. Una vez aplicados los criterios de exclusión, el total de registros disminuyó notablemente y se limitó a 40. Éstos se analizaron a texto completo para decidir su elegibilidad. Cinco de ellos cumplieron los criterios de inclusión y fueron sometidos a lectura y análisis (Tabla II).

Calidad metodológica

El acuerdo interrevisores para la puntuación total de la escala PEDro, determinado mediante el coeficiente de correlación intraclass, fue de 0,987. En las

Tabla I. Niveles de evidencia.

	Diseño de investigación	Descripción
Nivel 1a	ECA	Más de un ECA con puntuación PEDro ≥ 6 . Incluye comparaciones intrasujetos en condiciones aleatorias y diseños cruzados
Nivel 1b	ECA	Un ECA con puntuación PEDro ≥ 6
Nivel 2	ECA	ECA con puntuación PEDro < 6
	ECP	ECP (no aleatorizado)
	Cohorte	Estudio longitudinal prospectivo que usa al menos dos grupos similares, uno de los cuales está expuesto a una condición particular
Nivel 3	Casos y controles	Estudio retrospectivo que compara condiciones, incluidas cohortes históricas
Nivel 4	Estudio pre y post	Ensayo prospectivo con medidas pretratamiento, intervención y medidas postratamiento en un grupo de sujetos
	Medidas post	Estudio de intervención prospectivo con uno o más grupos con medidas postratamiento (no hay medidas pretratamiento o medidas que establezcan una línea base)
	Series de casos	Estudio retrospectivo que generalmente recopila variables de una revisión de historias clínicas
Nivel 5	Observacional	Análisis de corte transversal para interpretar relaciones
	Consenso clínico	Opinión de expertos sin evaluación crítica explícita, o basada en fisiología, biomecánica o «principios básicos»
	Caso clínico	Estudio pre y post de caso único

Fuente: Sackett et al [48].

ECA: ensayo clínico aleatorizado; ECP: ensayo controlado prospectivo.

tablas III y IV se incluyen las puntuaciones otorgadas por los dos revisores en la escala PEDro (ítem a ítem y puntuaciones totales) y el nivel de evidencia derivado.

De los cinco artículos analizados, únicamente el estudio de Gamito et al (2014) [52] correspondía a un ensayo clínico aleatorizado, con una calidad metodológica aceptable/buena. Los estudios pre- y post- de Dahdah et al [51] y Yasuda et al [30] presentaron una calidad metodológica pobre. Al igual que el estudio pre- y post-/medidas post de Huygelier et al [50]. La calidad metodológica del estudio de caso único de Gamito et al (2011) [53] no se analizó mediante la administración de la escala PEDro debido al riesgo de sesgo inherente a este tipo de estudios.

Tabla II. Características de los estudios incluidos en la revisión sistemática.

	Diseño	Muestra	Número de sesiones
Huygelier et al (2020) [50]	Estudio pre y post/medidas post	Sujetos sanos ($n = 15$) ^a Pacientes con ictus ($n = 7$) 5 H, 2 M Edad media: 59,6 años	10
Dahdah et al (2017) [51]	Estudio pre y post	$n = 15$ 6 ictus, 5 TCE, 2 tumores, 2 anoxias cerebrales 12 H, 3 M Edad media: 40,3 años Tiempo evolución poslesional: > 3 meses	8
Yasuda et al (2017) [30]	Estudio pre y post	$n = 10$ Ictus 6 H, 4 M Edad media: 70,6 años Tiempo evolución poslesional: < 5 meses	1
Gamito et al (2014) [52]	ECA	$n = 17$ Ictus 10 H, 7 M Grupo de RV inmersiva ($n = 9$; media: 55 años) Grupo de RV no inmersiva ($n = 8$; media: 45 años) Tiempo evolución poslesional: > 6 meses	12
Gamito et al (2011) [53]	Caso único	$n = 1$ TCE H, 20 años	10

ECA: ensayo clínico aleatorizado; H: hombres; M: mujeres; RV: realidad virtual; TCE: traumatismo craneoencefálico. ^a En el artículo no se especifica la proporción de H/M de los sujetos sanos ni su edad media.

Resumen de los resultados

Gamito et al (2011) [53] realizaron un estudio de caso único en el que valoraron un programa de RV inmersiva para mejorar la atención y la memoria de trabajo. Administraron al sujeto el *Paced Auditory Serial Addition Test* (PASAT)¹ en tres momentos temporales: pretratamiento, intratratamiento (sesión 5) y postratamiento (sesión 9). Respecto al PASAT 3s, los datos mostraron un incremento significativo en el porcentaje de respuestas correctas entre el pretratamiento y el intratratamiento $-\chi^2 2(1, 59) = 23,438$; $p < 0,001$ –, y entre el intratratamiento y el postratamiento $-\chi^2 2(1, 59) = 41,667$; $p < 0,001$ –. En cuanto al PASAT 2s, también hubo un

¹ La versión del PASAT empleada por Gamito et al (2011) [53] consiste en la presentación auditiva de una lista de 60 números simples en dos ensayos: el primero con un intervalo entre estímulos de tres segundos (PASAT 3s), y el segundo, de dos segundos (PASAT 2s).

aumento significativo en el porcentaje de respuestas correctas entre el pretratamiento y el intratratamiento $-\chi^2 2(1, 59) = 4,356$; $p < 0,05$ –, y entre el intratratamiento y el postratamiento $-\chi^2 2(1, 59) = 5,689$; $p < 0,05$ –.

Gamito et al (2014) [52] llevaron a cabo un ensayo clínico aleatorizado en el que valoraron el uso de un entorno de entrenamiento de RV para la rehabilitación de la atención y la memoria en pacientes con ictus. Para ello compararon un grupo experimental (RV inmersiva) con un grupo control activo (RV no inmersiva). A todos los participantes se les administró, antes y después del tratamiento, la *Wechsler Memory Scale* (WMS-III), la figura compleja de Rey y el test de Toulouse-Piéron. Respecto a la memoria, se observó un efecto del tratamiento en la WMS-III $-F(1, 16) = 12,491$; *mean square error* (MSE) = 117,813; $p < 0,01$ – y la figura compleja de Rey $-F(1, 16) = 8,676$; MSE = 19,709; $p < 0,05$ –. Estos hallazgos se tradujeron en una mejora significativa en las puntuaciones alcanzadas en la WMS-III postratamiento respecto a las obtenidas en la administración pretratamiento –media (M) = 85,71; desviación estándar (DE) = 3,89 frente a M = 98,94; DE = 3,99–. Obtuvieron resultados similares con la figura compleja de Rey (M = 11,41; DE = 1,83 frente a M = 15,77; DE = 2,49). No hubo efectos significativos entre el dispositivo de RV empleado (RV inmersiva frente a RV no inmersiva) en las evaluaciones realizadas con la WMS-III y la figura compleja de Rey. Se constató un efecto de la intervención en la atención sostenida valorada mediante el test de Toulouse-Piéron (pretratamiento: M = 75,69; DE = 10,83; postratamiento: M = 108,56; DE = 16,23). No hubo efectos significativos entre la evaluación y el dispositivo de RV utilizado ($p > 0,05$).

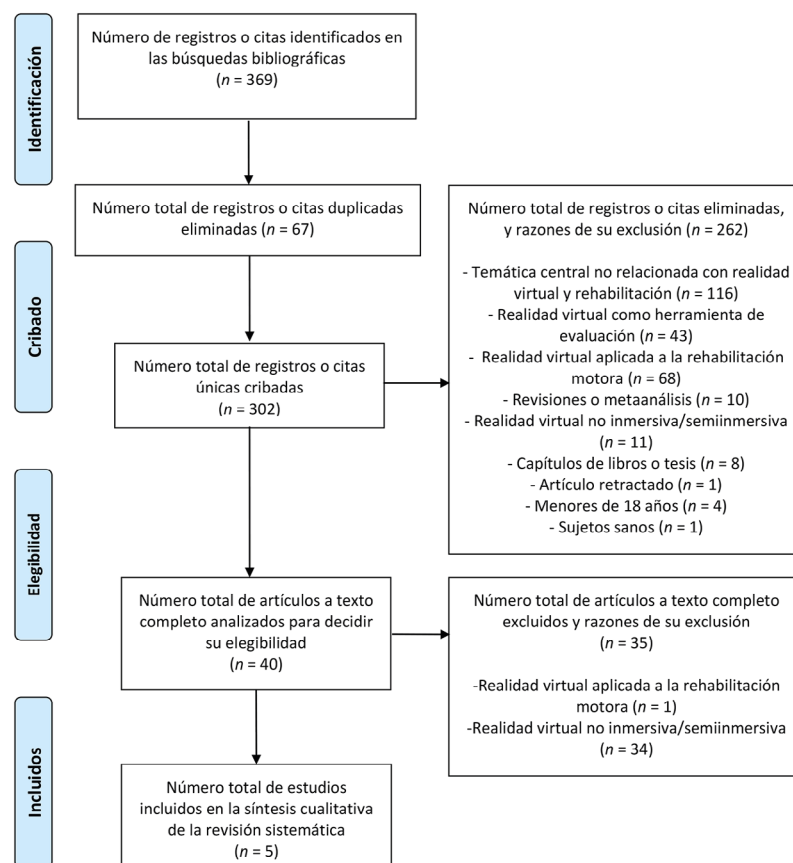
Dahdah et al [51] valoraron el efecto de un tratamiento basado en RV inmersiva sobre las funciones ejecutivas comparando el rendimiento de los pacientes en una versión de RV del Stroop, así como en otras versiones no RV de esta prueba. Con relación a este último aspecto, no se encontraron cambios significativos en la versión del Stroop incluida en el *Delis-Kaplan Executive Function System* cuando se comparó el rendimiento pretratamiento respecto al rendimiento postratamiento. Aun así, se observó una tendencia no significativa en el tiempo empleado para completar la condición de nombrar colores en la última sesión de tratamiento (primera sesión = 698 ms; última sesión = 634 ms; $p = 0,08$). Al comparar el rendimiento pre- y postratamiento en la prueba de lectura de palabras del *Automated Neuropsychological Assessment Metrics Stroop* se constató un aumento del porcentaje de respuestas

correctas ($p = 0,0293$) y un mayor número de respuestas correctas por minuto ($p = 0,0321$). Asimismo, los pacientes realizaron menos errores de comisión en el subtest *go/no-go* del *Automated Neuropsychological Assessment Metrics* ($p = 0,0408$). Respecto a la versión RV del Stroop, los pacientes demostraron una disminución significativa del tiempo de respuesta en la condición de lectura de palabras; concretamente, redujeron el tiempo de respuesta para las respuestas correctas ($p = 0,0383$).

Yasuda et al [30] aplicaron un programa de RV inmersiva para el entrenamiento de la heminegligencia del espacio cercano y lejano a 10 pacientes con ictus hemisférico derecho. Para ello compararon las puntuaciones totales del *Behavioral Inattention Test* (BIT) pre- y postratamiento. No se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre las puntuaciones totales del BIT pre- y el postratamiento para el espacio cercano ($p = 0,1875$). Por lo que respecta al espacio lejano, las puntuaciones totales del BIT indicaron una diferencia significativa pre- y postratamiento ($p = 0,002$).

Huygelier et al [50] analizaron la viabilidad de un juego de RV inmersiva para la rehabilitación de pacientes con heminegligencia. El diseño del estudio se dividió en tres fases: en la fase 1 participaron 15 sujetos control sanos; en la fase 2, siete pacientes con ictus; y en la fase 3, se incluyó únicamente a los pacientes de la fase 2 que presentaban heminegligencia. En la fase 1, los participantes realizaron una sola sesión de RV y se les administró una escala de experiencia del usuario y el *Simulator Sickness Questionnaire* (SSQ). La fase 2 constaba de dos sesiones: en la primera sesión se realizó un cribado general (entrevista semiestructurada y la versión Holandesa del *Oxford Cognitive Screen*. En la segunda sesión se administró el SSQ, a continuación, el juego de RV y para finalizar se volvió a administrar la escala de experiencia del usuario y el SSQ. Por último, en la fase 3, se realizó una sesión para detectar la presencia de heminegligencia y seis sesiones donde los sujetos jugaron con el aplicativo de RV. Al final de cada una de las seis sesiones se preguntó a los pacientes si les gustaba el juego y si experimentaban alguna molestia física. Ningún paciente informó de molestias físicas graves antes o después de la exposición a la RV ($M = 0,05$; $DE = 0,04$; rango: 0-0,09). El modelo bayesiano $-BF_{10} = 169$; intervalo de confianza al 95% post-pre = $(-0,17, -0,05)$ indicó que, después de la exposición a la RV, la calificación media de las molestias descritas en el SSQ fue menor en comparación al estado preintervención ($M = 0,3$; $DE = 0,3$; rango: 0-0,75).

Figura. Diagrama de flujo del proceso de revisión sistemática.



Discusión

Este estudio tiene como objetivo realizar una revisión sistemática de la bibliografía para identificar las características, la calidad metodológica y los principales resultados de los estudios que han aplicado la RV inmersiva en la rehabilitación cognitiva de pacientes con daño cerebral.

El principal escollo que nos hemos encontrado al realizar esta revisión es la escasez de publicaciones. Al mismo tiempo, estas publicaciones presentan limitaciones que condicionan la generalización de sus resultados [54]. Por ejemplo, a excepción del trabajo de Gamito et al (2014) [52], la calidad metodológica de los artículos analizados es francamente baja. Por lo que respecta al número de participantes, todos los artículos incluyen muestras de tamaños reducidos ($n < 30$). En cuanto al diseño experi-

Tabla III. Calidad metodológica de los estudios incluidos en la revisión según la escala PEDro.

	Estudios en la revisión sistemática				
	Huygelier et al (2020) [50]	Dahdah et al (2017) [51]	Yasuda et al (2017) [30]	Gamito et al (2014) [52]	Gamito et al (2011) [53]
Sujetos asignados al azar	0	0	0	0,5	N/A
Asignación oculta	0	0	0	0	N/A
Similitud de los indicadores pronósticos	0	0	0	1	N/A
Sujetos cegados	0	0	0	0	N/A
Terapeutas cegados	0	0	0	0	N/A
Evaluadores cegados	0	0	0	0	N/A
Medidas de resultados	1	1	1	1	N/A
Presentación de resultados	1	1	1	1	N/A
Comparaciones estadísticas informadas	0	0	0	1	N/A
Medidas puntuales y de variabilidad	1	1	1	1	N/A

0: ambos evaluadores consideran que el estudio no cumple el ítem; 0,5: únicamente uno de los evaluadores considera que el estudio cumple el ítem; 1: ambos evaluadores consideran que el estudio cumple el ítem; N/A: no aplicable.

mental utilizado, únicamente Gamito et al (2014) [52] implementan un ensayo clínico aleatorizado, en el que comparan un grupo experimental (RV inmersiva) con un grupo control activo (RV no inmersiva). En el caso de Huygelier et al [50], si bien también incluyen dos grupos (grupo de pacientes frente a grupo control sano), no efectúan comparaciones intergrupales para valorar la existencia de posibles diferencias entre ambos. Dahdah et al [51] y Yasuda et al [30] analizan el rendimiento de un grupo experimental antes y después de la intervención; y Gamito et al (2011) [53] hacen lo mismo con un único paciente. Esta situación corrobora la apreciación realizada por Larson et al [55], según la cual una de las principales limitaciones de los estudios que utilizan tecnologías de RV es la ausencia de grupos control.

Con relación a las características clínicas de los sujetos incluidos en los estudios analizados, cabe destacar diversos aspectos. En primer lugar, la causa del daño cerebral es heterogénea. Gamito et al (2014) [52], Yasuda et al [30] y Huygelier et al [50] incluyen pacientes con ictus; Gamito et al (2011) [53], un caso con traumatismo craneoencefálico; y Dahdah et al [51], pacientes de diferentes etiologías (ictus, traumatismo craneoencefálico, tumores y

anoxias). En segundo lugar, la mayoría de los artículos no especifica la gravedad lesional, al tiempo que proporciona información muy genérica sobre el tiempo transcurrido entre la lesión y el inicio del estudio. Estas limitaciones reducen significativamente la aplicabilidad de los resultados obtenidos, ya que condicionan los objetivos de tratamiento, así como el papel desempeñado por la recuperación espontánea en los cambios postratamiento. Por último, el rango de edad de los pacientes es muy amplio. El paciente analizado por Gamito et al (2011) [53], por ejemplo, tiene 20 años, mientras que la edad media de los participantes del estudio de Yasuda et al [30] es de 70,6 años.

Otros aspectos que determinan la interpretación de los estudios analizados son la diana terapéutica de los tratamientos, su duración y el seguimiento postintervención. Todos los artículos analizados utilizan la RV inmersiva como herramienta de rehabilitación cognitiva, pero lo hacen sobre dominios cognitivos diferentes. Gamito et al (2011) [53] y Gamito et al (2014) [52] se centran en mejorar la atención, la memoria y la memoria de trabajo; Huygelier et al [50] y Yasuda et al [30], en la rehabilitación de la heminegligencia; mientras que Dahdah et al [51] la aplican en el entrenamiento de las fun-

ciones ejecutivas. Con respecto a la duración de los tratamientos, el estudio de Yasuda et al [30] consta de una única sesión, mientras que las intervenciones aplicadas en los cuatro estudios restantes comprenden entre ocho y 12 sesiones. Por último, hay que señalar que tampoco evalúan la evolución del paciente ni realizan un seguimiento postratamiento que permita valorar si los cambios obtenidos tras la intervención se mantienen en el tiempo. De todo ello se desprende la imposibilidad de establecer un protocolo que recoja parámetros como la frecuencia, la intensidad o la forma de administrar la RV inmersiva en pacientes con daño cerebral.

La ausencia de estudios experimentales que valoren la utilidad de la RV inmersiva en la rehabilitación cognitiva de pacientes con daño cerebral puede tener diversas explicaciones. Una de ellas reside en la escasa implantación de la RV inmersiva en la práctica clínica asistencial (a pesar de la información que se difunde en los medios de comunicación generalistas, así como en los especializados), situación que contrasta con el uso, más o menos generalizado, de la RV no inmersiva y semiinmersiva.

La RV inmersiva requiere una elevada inversión económico-logística (por ejemplo, equipos informáticos de alto rendimiento, *Head-Mounted Display...*) en comparación con la RV no inmersiva o semiinmersiva [56]. Este coste, en muchos casos, es difícil de asumir y justificar por parte de los terapeutas o los centros asistenciales, al tiempo que la ausencia de estudios experimentales alimenta, como pez que se come la cola, la falta de evidencias que avalen la utilización de la RV inmersiva frente a los sistemas semiinmersivos o no inmersivos. Tal y como señalan Palacios-Navarro y Hogan [3], el coste de la tecnología de RV inmersiva no justifica su implantación en la práctica asistencial. Los estudios experimentales que avalen su utilidad clínica tienen que ir acompañados de estudios financieros que avalen su viabilidad económica. Por otra parte, actualmente no se dispone de la infraestructura tecnológica necesaria para que la RV inmersiva pueda utilizarse a nivel domiciliario, más allá de los entornos asistenciales [57]. Por último, hay que señalar que, en casos concretos, pueden existir resistencias al cambio por parte de los terapeutas: la instauración de cualquier nueva tecnología comporta un cambio de paradigma asistencial que conlleva destinar recursos, tiempo y formación para consolidar su implantación [51].

Otro aspecto que limita el uso de la RV inmersiva en la práctica clínica es la denominada ciberenfermedad [58,59]. Este concepto engloba diferentes síntomas que generan malestar corporal asociado a la exposición a mundos virtuales inmersivos. Los

Tabla IV. Calidad metodológica y nivel de evidencia para cada estudio.

	Puntuación PEDro Revisor 1/revisor 2	Calidad metodológica (según PEDro)	Nivel de evidencia
Huygelier et al (2020) [50]	3/3	Pobre	4
Dahdah et al (2017) [51]	3/3	Pobre	4
Yasuda et al (2017) [30]	3/3	Pobre	4
Gamito et al (2014) [52]	5/6	Aceptable/buena	2/1b
Gamito et al (2011) [53]	N/A	N/A	5

N/A: no aplicable.

síntomas más comunes son malestar general, dolor de cabeza, fatiga visual, náuseas, sudoración, somnolencia y desorientación. Pueden durar desde minutos hasta días postexposición, con efectos posteriores que se manifiestan en forma de ataxia postural, desplazamientos visuales (por ejemplo, alteración del reflejo vestibuloocular) o alteración de la coordinación mano-ojo.

Este trabajo no está exento de limitaciones. Se ha valorado la validez externa e interna de los estudios con la escala PEDro. Al tratarse de un instrumento que valora la calidad metodológica de diseños experimentales grupales, su uso no era apropiado en el estudio de Gamito et al (2011) [53]. Hubiera sido aconsejable aplicar instrumentos que analicen la calidad metodológica de diseños de caso único, como, por ejemplo, la *Single-Case Experimental Design Scale* [60]. Además, incurrimos en un sesgo de idioma en la búsqueda bibliográfica: seleccionamos exclusivamente artículos en inglés y en español, obviando publicaciones en otros idiomas.

En conclusión, de acuerdo con esta revisión sistemática, no hay evidencias de la eficacia ni de la utilidad de la RV inmersiva en la rehabilitación cognitiva en pacientes con daño cerebral. Esta ausencia de evidencias se explica por la falta de estudios con un diseño metodológico que permita generar evidencias de nivel 1a y no porque los resultados obtenidos en los artículos analizados sean negativos o no concluyentes. Para poder contrastar la utilidad de la RV inmersiva es fundamental disponer de ensayos controlados aleatorizados que permitan comparar las intervenciones basadas en RV inmersiva con otras herramientas tecnológicas empleadas en la rehabilitación cognitiva de pacientes con daño cerebral.

Bibliografia

- Borrego A, Latorre J, Alcañiz M, Llorens, R. Comparison of Oculus Rift and HTC Vive: feasibility for virtual reality-based exploration, navigation, exergaming, and rehabilitation. *Games Health J* 2018; 7: 151-6.
- Kim WS, Cho S, Ku J, Kim Y, Lee K, Hwang HJ, et al. Clinical application of virtual reality for upper limb motor rehabilitation in stroke: review of technologies and clinical evidence. *J Clin Med* 2020; 9: 3369.
- Palacios-Navarro G, Hogan N. Head-mounted display-based therapies for adults post-stroke: a systematic review and meta-analysis. *Sensors (Basel)* 2021; 21: 1111.
- Lange B, Koenig S, Chang CY, McConnell E, Suma E, Bolas M, et al. Designing informed game-based rehabilitation tasks leveraging advances in virtual reality. *Disabil Rehabil* 2012; 34: 1863-70.
- Lee JH, Ku J, Cho W, Hahn WY, Kim IY, Lee SM, et al. A virtual reality system for the assessment and rehabilitation of the activities of daily living. *Cyberpsychol Behav* 2003; 6: 383-8.
- Gourlay D, Lun KC, Lee YN, Tay J. Virtual reality for relearning daily living skills. *Int J Med Inform* 2000; 60: 255-61.
- Tieri G, Morone G, Paolucci S, Iosa M. Virtual reality in cognitive and motor rehabilitation: facts, fiction and fallacies. *Expert Rev Med Devices* 2018; 15: 107-17.
- Matijević V, Secić A, Masić V, Sunić M, Kolak Z, Znika M. Virtual reality in rehabilitation and therapy. *Acta Clin Croat* 2013; 52: 453-7.
- Schultheis MT, Himelstein J, Rizzo AA. Virtual reality and neuropsychology: upgrading the current tools. *J Head Trauma Rehabil* 2002; 17: 378-94.
- Ferrer-García M, Gutiérrez-Maldonado J. The use of virtual reality in the treatment of eating disorders. *Stud Health Technol Inform* 2012; 181: 17-21.
- Parsons TD, Rizzo AA, Rogers S, York P. Virtual reality in paediatric rehabilitation: a review. *Dev Neurorehabil* 2009; 12: 224-38.
- Makransky G, Lilleholt L. A structural equation modeling investigation of the emotional value of immersive virtual reality in education. *Educ Technol Res Dev* 2018; 66: 1141-64.
- Kothgassner OD, Goreis A, Kafka JX, Van Eickels RL, Plener PL, Felnhöfer A. Virtual reality exposure therapy for posttraumatic stress disorder (PTSD): a meta-analysis. *Eur J Psychotraumatol* 2019; 10: 1654782.
- Morina N, Ijntema H, Meyerbröker K, Emmelkamp PM. Can virtual reality exposure therapy gains be generalized to real-life? A meta-analysis of studies applying behavioral assessments. *Behav Res Ther* 2015; 74: 18-24.
- Opriš D, Pinteá S, García-Palacios A, Botella C, Szamosközi S, David D. Virtual reality exposure therapy in anxiety disorders: a quantitative meta-analysis. *Depress Anxiety* 2012; 29: 85-93.
- Powers MB, Emmelkamp PM. Virtual reality exposure therapy for anxiety disorders: a meta-analysis. *J Anxiety Disord* 2008; 22: 561-9.
- Carl E, Stein AT, Levihn-Coon A, Pogue JR, Rothbaum B, Emmelkamp P, et al. Virtual reality exposure therapy for anxiety and related disorders: a meta-analysis of randomized controlled trials. *J Anxiety Disord* 2019; 61: 27-36.
- Ioannou A, Papastavrou E, Avraamides MN, Charalambous A. Virtual reality and symptoms management of anxiety, depression, fatigue, and pain: a systematic review. *SAGE Open Nurs* 2020; 6: 2377960820936163.
- Jahn FS, Skovbye M, Obenhausen K, Jespersen AE, Miskowiak KW. Cognitive training with fully immersive virtual reality in patients with neurological and psychiatric disorders: A systematic review of randomized controlled trials. *Psychiatry Res* 2021; 300: 113928.
- Cherniack EP. Not just fun and games: applications of virtual reality in the identification and rehabilitation of cognitive disorders of the elderly. *Disabil Rehabil Assist Technol* 2011; 6: 283-9.
- Campo-Prieto P, Santos-García D, Cancela-Carral JM, Rodríguez-Fuentes G. Estado actual de la realidad virtual inmersiva como herramienta de rehabilitación física y funcional en pacientes con enfermedad de Parkinson: revisión sistemática. *Rev Neurol* 2021; 73: 358-67.
- Coyle H, Traynor V, Solowij N. Computerized and virtual reality cognitive training for individuals at high risk of cognitive decline: systematic review of the literature. *Am J Geriatr Psychiatry* 2015; 23: 335-59.
- Corbetta D, Imeri F, Gatti R. Rehabilitation that incorporates virtual reality is more effective than standard rehabilitation for improving walking speed, balance and mobility after stroke: a systematic review. *J Physiother* 2015; 61: 117-24.
- Domínguez-Téllez P, Moral-Muñoz JA, Casado-Fernández E, Salazar A, Lucena-Anton D. Efectos de la realidad virtual sobre el equilibrio y la marcha en el ictus: revisión sistemática y metaanálisis. *Rev Neurol* 2019; 69: 223-34.
- Li Z, Han XG, Sheng J, Ma SJ. Virtual reality for improving balance in patients after stroke: a systematic review and meta-analysis. *Clin Rehabil* 2016; 30: 432-40.
- Henderson A, Korner-Bitensky N, Levin M. Virtual reality in stroke rehabilitation: a systematic review of its effectiveness for upper limb motor recovery. *Top Stroke Rehabil* 2007; 14: 52-61.
- Domínguez-Téllez P, Moral-Muñoz JA, Salazar A, Casado-Fernández E, Lucena-Antón D. Game-based virtual reality interventions to improve upper limb motor function and quality of life after stroke: systematic review and meta-analysis. *Games Health J* 2020; 9: 1-10.
- Maggio MG, Latella D, Maresca G, Sciarone F, Manuli A, Naro A. Virtual reality and cognitive rehabilitation in people with stroke: an overview. *J Neurosci Nurs* 2019; 51: 101-5.
- Kim YM, Chun MH, Yun GJ, Song YJ, Young HE. The effect of virtual reality training on unilateral spatial neglect in stroke patients. *Ann Rehabil Med* 2011; 35: 309-15.
- Yasuda K, Muroi D, Ohira M, Iwata H. Validation of an immersive virtual reality system for training near and far space neglect in individuals with stroke: a pilot study. *Top Stroke Rehabil* 2017; 24: 533-8.
- De Luca R, Lo Buono V, Leo A, Russo M, Aragona B, Leonardi S, et al. Use of virtual reality in improving poststroke neglect: promising neuropsychological and neurophysiological findings from a case study. *Appl Neuropsychol Adult* 2019; 26: 96-100.
- Pedroli E, Serino S, Cipresso P, Pallavicini F, Riva G. Assessment and rehabilitation of neglect using virtual reality: a systematic review. *Front Behav Neurosci* 2015; 9: 226.
- De Luca R, Russo M, Naro A, Tomasello P, Leonardi S, Santamaria F, et al. Effects of virtual reality-based training with BTs-Nirvana on functional recovery in stroke patients: preliminary considerations. *Int J Neurosci* 2018; 128: 791-6.
- Maier M, Ballester BR, Leiva Bañuelos N, Duarte Oller E, Verschure P. Adaptive conjunctive cognitive training (ACCT) in virtual reality for chronic stroke patients: a randomized controlled pilot trial. *J Neuroeng Rehabil* 2020; 17: 42.
- Faria AL, Andrade A, Soares L, I Badia SB. Benefits of virtual reality based cognitive rehabilitation through simulated activities of daily living: a randomized controlled trial with stroke patients. *J Neuroeng Rehabil* 2016; 13: 96.
- Faria AL, Pinho MS, Bermúdez i Badia S. A comparison of two personalization and adaptive cognitive rehabilitation approaches: a randomized controlled trial with chronic stroke patients. *J Neuroeng Rehabil* 2020; 17: 78.
- Winstein CJ, Stein J, Arena R, Bates B, Cherney LR, Cramer SC, et al. Guidelines for adult stroke rehabilitation and recovery: a guideline for healthcare professionals from the American Heart Association/American Stroke Association. *Stroke* 2016; 47: e98-169.
- Aida J, Chau B, Dunn J. Immersive virtual reality in traumatic brain injury rehabilitation: a literature review. *Neurorehabilitation* 2018; 42: 441-8.

39. Jacoby M, Averbuch S, Sacher Y, Katz N, Weiss PL, Kizony R. Effectiveness of executive functions training within a virtual supermarket for adults with traumatic brain injury: a pilot study. *IEEE Trans Neural Syst Rehabil Eng* 2013; 21: 182-90.
40. Martínez-Moreno JM, Sánchez-González P, Luna M, Roig T, Tormos JM, Gómez EJ. Modelling ecological cognitive rehabilitation therapies for building virtual environments in brain injury. *Methods Inf Med* 2016; 55: 50-9.
41. Manivannan S, Al-Amri M, Postans M, Westacott LJ, Gray W, Zaben M. The effectiveness of virtual reality interventions for improvement of neurocognitive performance after traumatic brain injury: a systematic review. *J Head Trauma Rehabil* 2019; 34: E52-65.
42. Maggio MG, De Luca R, Molonia F, Porcari B, Destro M, Casella C, et al. Cognitive rehabilitation in patients with traumatic brain injury: a narrative review on the emerging use of virtual reality. *J Clin Neurosci* 2019; 61: 1-4.
43. Pietrzak E, Pullman S, McGuire A. Using virtual reality and videogames for traumatic brain injury rehabilitation: a structured literature review. *Games Health J* 2014; 3: 202-14.
44. Maggio MG, Maresca G, De Luca R, Stagnitti MC, Porcari B, Ferrera MC. The growing use of virtual reality in cognitive rehabilitation: fact, fake or vision? A scoping review. *J Natl Med Assoc* 2019; 111: 457-63.
45. Moher D, Liberati A, Tetzlaff J, Altman DG. Preferred reporting items for systematic reviews and meta-analyses: the PRISMA statement. *PLoS Med* 2009; 21: e1000097.
46. Escala PEDro. URL: <https://pedro.org.au/spanish/resources/pedro-scale/>. Fecha última consulta: 20.11.2021.
47. Evidence-Based Review of Acquired Brain Injury (ERABI). URL: <https://erabi.ca>. Fecha última consulta: 20.11.2021.
48. Sackett D, Straus S, Richardson W, Rosenberg W, Haynes R. Evidence-based medicine: how to practice and teach EBM. Toronto: Churchill Livingstone; 2000.
49. Free ICC-Reliability Calculator. URL: <http://www.raterreliability.com/>. Fecha última consulta: 07.01.2022.
50. Huygelier H, Schraepen B, Lafosse C, Vaes N, Schillebeeckx E, Michiels K, et al. An immersive virtual reality game to train spatial attention orientation after stroke: a feasibility study. *Appl Neuropsychol Adult* 2020; 18: 1-21.
51. Dahdah MN, Bennett M, Prajapati P, Parsons TD, Sullivan E, Driver S. Application of virtual environments in a multi-disciplinary day neurorehabilitation program to improve executive functioning using the Stroop task. *Neurorehabilitation* 2017; 41: 721-34.
52. Gamito P, Oliveira J, Santos N, Pacheco J, Morais D, Saraiva T, et al. Virtual exercises to promote cognitive recovery in stroke patients: the comparison between head mounted displays versus screen exposure methods. *Int J Disabil Hum Dev* 2014; 13: 337-42.
53. Gamito P, Oliveira J, Pacheco J, Morais D, Saraiva T, Lacerda R, et al. Traumatic brain injury memory training: a virtual reality online solution. *Int J Disabil Hum Dev* 2011; 10: 309-12.
54. Alashram AR, Annino G, Padua E, Romagnoli C, Mercuri NB. Cognitive rehabilitation post traumatic brain injury: a systematic review for emerging use of virtual reality technology. *J Clin Neurosci* 2019; 66: 209-19.
55. Larson EB, Feigon M, Gagliardo P, Dvorkin AY. Virtual reality and cognitive rehabilitation: a review of current outcome research. *NeuroRehabilitation* 2014; 34: 759-72.
56. Zanier ER, Zoerle T, Di Lernia D, Riva G. Virtual reality for traumatic brain injury. *Front Neurol* 2018; 9: 345.
57. Thornton M, Marshall S, McComas J, Finestone H, McCormick A, Sveistrup H. Benefits of activity and virtual reality based balance exercise programmes for adults with traumatic brain injury: perceptions of participants and their caregivers. *Brain Inj* 2005; 19: 989-1000.
58. Weech S, Kenny S, Barnett-Cowan M. Presence and cybersickness in virtual reality are negatively related: a review. *Front Psychol* 2019; 10: 158.
59. Rebenitsch L, Owen C. Review on cybersickness in applications and visual displays. *Virtual Real* 2016; 20: 101-25.
60. Tate RL, McDonald S, Perdices M, Togher L, Schultz R, Savage S. Rating the methodological quality of single-subject designs and n-of-1 trials: introducing the Single-Case Experimental Design (SCED) Scale. *Neuropsychol Rehabil* 2008; 18: 385-401.

Use of immersive virtual reality for cognitive rehabilitation of patients with brain injury

Introduction. Virtual reality (VR) is a therapeutic tool that is widely used in the cognitive rehabilitation of brain-damaged patients. Depending on the degree of immersiveness, a distinction can be made between non-immersive, semi-immersive and immersive VR. Studies assessing the utility of VR have focused on the non-immersive and semi-immersive modes. Little evidence is available on the effectiveness of immersive VR.

Aim. To describe the characteristics, methodological quality and main results of studies that have applied immersive VR programmes in the cognitive rehabilitation of brain-damaged patients.

Materials and methods. Following the PRISMA guidelines, a bibliographic search was conducted for studies published in the PubMed and PsycINFO databases. The methodological quality of the articles that met the selection criteria was assessed using the PEDro scale.

Results. After applying the inclusion and exclusion criteria, of the 369 articles of potential interest, five met the eligibility criteria. One of them was a randomised clinical trial (with acceptable/good methodological quality). Three were studies with pre- and post-treatment measures and one was a single case study, all four of them displaying poor methodological quality.

Conclusions. According to the results obtained, there is no evidence of the effectiveness or utility of immersive VR in cognitive rehabilitation in brain-damaged patients. This finding is explained by the lack of studies with a methodological design that allows for the generation of quality evidence rather than because the results obtained in the articles analysed are negative or inconclusive.

Key words. Acquired brain injury. Cognition. Immersiveness. Rehabilitation. Treatment. Virtual reality.