

TRABAJO FINAL DE MÁSTER

Máster en Rehabilitación Neuropsicológica y Estimulación Cognitiva

**LA EFECTIVIDAD DE LA REALIDAD VIRTUAL
EN LA REHABILITACIÓN DE PERSONAS
ADULTAS CON ALTERACIÓN DE LAS
FUNCIONES EJECUTIVAS TRAS DAÑO
CEREBRAL ADQUIRIDO**

Autores

Débora E. Álvarez Leiva
Joan Manel Villa Echeverría

Tutor

Dr. Alberto García Molina

BARCELONA, MAYO 2023

Agradecimientos

Queremos agradecer primeramente a nuestro tutor, el Dr. Alberto García Molina, por orientarnos y alentarnos en cada encuentro con su retroalimentación, el cual nos motivaba a continuar trabajando. También, a nuestras familias y amigos que de diferentes modos nos han acompañado y contenido durante este proceso de trabajo. Por último, nos agradecemos mutuamente a nosotros mismos por la entrega y compañerismo en este desafío que terminamos plácidamente.

Débora E. Alvarez Leiva

Joan Manel Villa Echeverría

Antecedentes: De acuerdo a los avances tecnológicos de estas últimas décadas y su incorporación progresiva en el ámbito de la rehabilitación, hemos visto la necesidad de indagar sobre la efectividad de estos recursos que prometen facilitar el trabajo de recuperación de los pacientes con daño cerebral.

Objetivos: El objetivo general del presente trabajo, fue analizar la eficacia del uso de la realidad virtual (RV) en la rehabilitación de las funciones ejecutivas en pacientes adultos con daño cerebral adquirido. Se analizaron siete estudios relacionados con el uso de diferentes dispositivos de RV en la rehabilitación de las funciones ejecutivas, con distintas metodologías, muestras pequeñas y heterogeneidad en las características de los participantes y sus respectivas valoraciones.

Metodología: Revisión sistemática de la literatura en busca de ensayos aleatorios controlados que aporten información sobre los efectos de intervenciones neuropsicológicas o de estimulación cognitiva, en pacientes adultos con daño cerebral adquirido.

Resultados: Se han analizado 7 artículos de los cuales tres son ensayos controlados aleatorizados (ECA), uno es un ensayo no controlado, otro es un ensayo piloto preliminar, un estudio cuasi-experimental sin grupo control y un estudio piloto. A pesar de los avances tecnológicos, la evidencia de los resultados no es significativamente convincente para afirmar el uso terapéutico en las funciones ejecutivas (FDT, WCST, TMT-B, TOL, COWAT, subtests WAIS-III), la calidad de vida (SIS 3.0) y el estado de ánimo (BDI-II, BAI) y la seguridad de los dispositivos de realidad virtual. Sin embargo presentan beneficios prometedores para la rehabilitación del paciente y la facilitación del trabajo del terapeuta, juntamente con una mayor motivación y sensación de utilidad gracias a que las sesiones con la RV son estimulantes al regular el nivel de dificultad y retroalimentar su rendimiento inmediato pudiendo influir en los efectos positivos de la RV.

Conclusiones: Esta revisión bibliográfica muestra que los resultados de los estudios analizados respecto a la efectividad de la realidad virtual como herramienta para rehabilitar las funciones ejecutivas, aún no son concluyentes para garantizar su efectividad y seguridad. Si bien, se han observado mejoras en los grupos experimentales, estos no han sido lo suficientemente significativos. Además se observa que, desde las valoraciones de neuropsicología se presentan con poca evidencia en la transferencia a la vida diaria. Aun así, puede servir para contribuir a futuras investigaciones sobre el uso de la realidad virtual, ya que creemos que puede poseer el potencial para ser una alternativa complementaria para rehabilitar el daño cognitivo y funcional.

Palabras clave: *“funciones”, “ejecutivas”, “realidad”, “virtual”, “neurorrehabilitación”, “efectividad”, “daño”, “cerebral”, “estimulación”, “cognitiva”.*

1. INTRODUCCIÓN	5
2. HIPÓTESIS Y OBJETIVOS	8
3. METODOLOGÍA	9
3.1. Fuentes de base de datos	9
3.2. Criterios de inclusión y exclusión	9
3.3. Estrategias de búsqueda	10
3.4. Diagrama de búsqueda	12
3.5. Descripción de los artículos	13
4. RESULTADOS	18
5. DISCUSIÓN	24
6. CONCLUSIONES	27

1. INTRODUCCIÓN

El cerebro se compone de diferentes regiones que son las encargadas de poner en marcha funciones específicas. Aun así, las regiones están interconectadas entre sí creando redes neuronales que requiere de un funcionamiento integrado con tal de que dichas funciones específicas puedan llevarse a cabo. La creación y el desarrollo de los circuitos neuronales dependerá en gran medida de las vivencias y experiencias de cada individuo, ya que son las que determinarán en parte cómo nuestro cerebro se va a ir conectando entre las diferentes regiones. Un buen desarrollo individual es fundamental, ya no solo para una mayor adaptación al ambiente gracias a las conexiones neuronales sino para reducir la probabilidad de una mayor afectación de las funciones en caso de daño cerebral adquirido (DCA). Hablamos, concretamente, de **funciones cognitivas**, las cuales, de modo general, hacen referencia a los procesos mentales que se realizan de forma compleja a nivel cortical y que ejecutan diferentes acciones que hacen posible la interacción del sujeto con el mundo externo. Dichas funciones proporcionan capacidades y habilidades individuales como la memoria, la atención, el lenguaje, habilidades visuoespaciales, la velocidad de procesamiento de la información y las funciones ejecutivas. Como vemos, el DCA podría afectar a cualquiera de estas funciones cognitivas y dicho daño depende de, no solo el desarrollo individual, sino de factores como la edad, la genética, la zona de la lesión, la gravedad de la lesión, el tipo de intervención e incluso un buen diagnóstico clínico.

No obstante, para el presente trabajo solamente nos centraremos en las **funciones ejecutivas** (FFEE). Existen variados modelos que explican el funcionamiento de las funciones ejecutivas, pero aún no se ha llegado a un consenso de forma universal. Por consiguiente, nos hemos decantado por la definición de Sholberg y Mateer (1989), ya que, además de resultar atingente, se aproxima a los conceptos que en este trabajo tratamos y observamos pues *“consideran que las funciones ejecutivas abarcan una serie de procesos cognitivos entre los que destacan la anticipación, la elección de objetivos, la planificación, la selección de la conducta, la autorregulación, el autocontrol y el uso de retroalimentación (feedback) [citado en Junqué y Barroso, 1994]”* [39]. Dichas funciones son fundamentales para la revisión de la conducta, la resolución de problemas y el razonamiento lógico con tal de alcanzar los objetivos establecidos y desempeñar eficazmente las actividades básicas e instrumentales de la vida cotidiana. En concreto, todas las actividades que tienen relación con actividades como el vestirse, la higiene, el arreglo personal como así también preparar alimentos, limpiar el hogar y orientarse de forma independiente en la comunidad, como el uso del transporte público, realizar compras o trámites, participación social y laboral. En general todas aquellas actividades para la automantenimiento de una vida independiente.

Ahora bien, cuando las FFEE se ven interferidas en una persona adulta por una alteración producto de un daño cerebral adquirido como traumatismos craneoencefálicos, ictus, afecciones tumorales, entre otras, generalmente, en el lóbulo prefrontal, ya que se relacionan con una participación más frontal del cerebro, se produce un importante impacto, principalmente negativo, tanto en el funcionamiento de la vida, laboral e intra-domiciliar, como así también en la integración de la persona a su comunidad, su autonomía e independencia generando un gran desafío tanto para la familia como para el trabajo de los terapeutas que ejecutarán la rehabilitación. Debemos añadir que, respecto al impacto, también puede ser positivo en caso de que existieran conductas inadecuadas previamente a la lesión, por

ejemplo, agresividad, impulsividad, rigidez o frialdad emocional pueden llegar a reducirse, lo cual puede facilitar la convivencia, la integración y relación social y la expresión emocional.

Respecto a la rehabilitación de las FFEE es idealmente necesario el trabajo coordinado de un equipo multidisciplinario de profesionales como neuropsicólogos, logopedas, terapeutas ocupacionales, entre otros, para ayudar a la persona afectada y su familia alcanzar los objetivos funcionales y terapéuticos. Esta metodología permite que se puedan trabajar objetivos comunes ajustados a las necesidades de la persona y otros específicos de cada disciplina como puede ser desde la perspectiva física. Es decir, aunque una intervención física no actúe directamente sobre la alteración cognitiva, la rehabilitación de esta intervención sí que tiene un impacto positivo cuando se estimula directamente la función cognitiva afectada haciendo que el tratamiento sea más efectivo. Las funciones preservadas a la hora de rehabilitar son esenciales, y cuantas más se tengan, mayor cantidad de recursos se dispondrán para trabajar en la rehabilitación de otras funciones. Las intervenciones cognitivas se realizan generalmente de forma clásica a través de ejercicios cognitivos de mesa y actividades que se orientan a entrenar las funciones alteradas que permitan poder cumplir con las demandas de la vida cotidiana. En estos tiempos también se están incluyendo con mayor énfasis la utilización de herramientas tecnológicas para la intervención, como juegos de ordenador.

No obstante, la tecnología está logrando ir más allá de los juegos de ordenador. Existen simulaciones de situaciones de la vida real para que el individuo entrene las FFEE en contextos motivantes o interactivos que les permita adherir y entrenar de forma eficaz la información. Hablamos de la **realidad virtual (RV)**, la cual, utilizada en el ámbito de la rehabilitación, ofrece factores que parecen prometedores en términos ecológicos. Según esta definición, *“La realidad virtual (VR) se refiere a una simulación interactiva que brinda al usuario la oportunidad de actuar en un entorno similar a un entorno físico. Las ventajas únicas de la realidad virtual incluyen la oportunidad de un aprendizaje experiencial y activo durante una actividad motivadora, la capacidad de controlar la cantidad de estímulos y el grado de dificultad de la tarea y la capacidad de medir objetivamente el comportamiento y el rendimiento de un cliente”*. 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 pudiendo ser una experiencia semi-inmersiva o inmersiva. La ventaja de poder entrenar en un entorno real y no con unas actividades sobre la mesa es que se acerca mucho más a tareas que se llevarán a cabo en la vida real, por ejemplo, ir a un supermercado cruzando por carreteras y gestionando el dinero, y no mejorando en actividades que tienen pocas posibilidades de ser transferidas a la vida real. Otro factor es la motivación, ya que se pueden ir regulando los niveles de dificultad con tal de que se adapten a las capacidades de los pacientes mediante inteligencia artificial o los propios terapeutas. Esto ayuda a mantener el interés, a ver los logros y utilizar mayor esfuerzo cognitivo como la atención ayudando a, como consecuencia, que el aprendizaje o la mejora sea más significativa. La motivación también está relacionada con la sensación de utilidad, lo cual puede ayudar a reducir el malestar emocional.

Justificación

El motivo que nos impulsó para la realización del presente trabajo tiene relación con el interés de conocer de manera más específica la rehabilitación de las funciones ejecutivas, ya que consideramos, de acuerdo con nuestro conocimiento general y breve experiencia, que el trabajo de recuperación de estas funciones, es determinante para que los pacientes con daño cerebral adquirido puedan desempeñarse de la forma más autónoma posible en la vida cotidiana. Luego, pensamos que, si bien el trabajo que se puede realizar de manera clásica en la rehabilitación neuropsicológica, es decir en un box de atención con ejercicios que se alejan del contexto de la vida real del paciente es muy relevante, puede, no obstante, generar dificultades en la transferencia de las habilidades trabajadas. Por lo mismo, nos preguntamos si el avance de la tecnología que ya podemos ver en la creciente promoción o exposición de juegos de realidad virtual en el ámbito de la neurorrehabilitación, ésta presenta evidencias científicas en la rehabilitación de las funciones ejecutivas que respalden el uso de estos dispositivos de realidad virtual inmersiva y no inmersiva que simulan situaciones de la vida real y que por lo tanto podría enriquecer o complementar el contexto de la terapia que se ofrece al paciente.

2. HIPÓTESIS Y OBJETIVOS

Objetivo general

Analizar la efectividad del uso de la realidad virtual para la rehabilitación de las funciones ejecutivas en personas adultas con daño cerebral adquirido

Objetivos específicos

- Describir la realidad virtual como medio terapéutico en neurorrehabilitación.
- Describir las dificultades funcionales de las personas con alteración de las funciones ejecutivas.
- Identificar cuáles son los factores del uso de la realidad virtual que contribuyen en la rehabilitación de las funciones ejecutivas.
- Explicar las evidencias científicas que existen respecto a la utilización de la realidad virtual en la rehabilitación de las funciones ejecutivas.

Hipótesis

- Conocer la efectividad de la RV en personas con DCA para rehabilitar las FFE.
 - **Hipótesis 1:** la rehabilitación cognitiva mediante RV mejorará las alteraciones de las funciones ejecutivas según escalas correspondientes.
- Conocer la efectividad de la RV para mejorar los síntomas emocionales/conductuales iniciales
 - **Hipótesis 2:** la rehabilitación cognitiva mediante RV mejorará las alteraciones en el estado de ánimo como la apatía, la tristeza, la ansiedad y mejorará los cambios conductuales según escalas correspondientes.
- Conocer la efectividad de la RV para mejorar la calidad de vida de los pacientes y el bienestar psicológico.
 - **Hipótesis 3:** La estimulación cognitiva aplicada mediante RV mejorará la independencia y la autonomía según escalas correspondientes.

3. METODOLOGÍA

3.1. Fuentes y base de datos

La búsqueda bibliográfica se ha realizado en bases de datos de internet como GOOGLE ACADÉMICO, DIALNET, SCIENCE DIRECT, DOAJ y PUBMED en busca de ensayos aleatorios controlados (RCT), con muestras pequeñas y medianas, siguiendo unos criterios de inclusión y exclusión para seleccionar los artículos.

Los términos de búsqueda empleados para precisar adecuadamente la selección de los artículos han sido principalmente “realidad virtual” y “funciones ejecutivas” combinadas con “daño cerebral”. Al realizar la búsqueda en bases de datos en inglés las palabras clave han sido: “virtual reality” y “executive functions”, combinado con “brain injury”.

Se ha utilizado el AND para la búsqueda de artículos con un título compuesto de los términos de búsqueda principales. También hemos utilizado el OR para buscar palabras alternativas a las usadas en la búsqueda en caso de encontrar pocos resultados. Por otro lado, también utilizamos el NOT para reducir el rango de búsqueda al haber varios estudios que intervienen utilizando la VR en otros colectivos específicos sin DCA.

3.2. Criterios de inclusión y exclusión

Criterios de inclusión:

- Estudios en inglés o español.
- Estudios entre el año 2010 y 2022.
- Pacientes con Daño Cerebral Adquirido (o patologías adquiridas que puedan alterar las funciones ejecutivas).
- Personas adultas (mayores de 18 años) con daño cerebral adquirido (DCA).
- Ser un artículo original.
- Estudios clínicos que sean ensayos aleatorios controlados, estudios piloto o de caso.
- Los estudios pueden incluir las actividades de la vida diaria (o AIVD), el estado de ánimo, la independencia y autonomía.
- Posibilidad de acceder al texto completo.
- Pueden incluir otras funciones cognitivas además de las funciones ejecutivas.
- Técnicas de RV Inmersiva y no inmersiva.
- Intervenciones combinadas (p. ej. ejercicio físico, socialización, etc.).

Criterios de exclusión:

- Estudios en diferentes idiomas a los indicados en la inclusión (p. ej. francés, chino, portugués, gallego, etc.).
- Las revisiones sistemáticas, literarias, metaanálisis, estudios experimentales o incontrolados.
- La rehabilitación no se enfoca en las funciones ejecutivas.

- Estudios que no se centran en la efectividad de la realidad virtual (p. ej. evaluación, entrenamiento).
- Deterioro asociado a la edad (personas mayores de 60 años) o demencias (p. ej. Alzheimer o Parkinson).
- DCA no traumático (esquizofrenia, fobia, ansiedad, depresión, etc.).
- DCA en colectivos de riesgo. P. ej., deportistas (conmociones cerebrales) o drogadictos (tabaco, alcohol y drogas) o militares (estrés postraumático, ansiedad, depresión).

3.3. Estrategias de búsqueda

Dialnet

La base de datos de Dialnet dio como resultado un total de 600 artículos en dos búsquedas, ambas en el rango de años entre 2010 y 2022. En la primera búsqueda utilizamos términos en inglés como “virtual reality” y “executive functions” dando como resultado un único artículo. No obstante, tuvo que ser excluido por enfocar el estudio en la mejora de las funciones ejecutivas en personas de mayor edad y no por daño cerebral adquirido. En la segunda búsqueda aparecieron 599 artículos, esta vez añadiendo términos a la búsqueda utilizando el booleano OR para buscar no solamente artículos con la palabra “executive” sino también con “cognitive” o “effect” para aumentar el rango de búsqueda sobre la efectividad de la realidad virtual y artículos no centrados en las FFEE sino en las funciones cognitivas en general. Entre estos, se filtró por texto completo, por idiomas en inglés y español y por temática de psicología dejando 31 resultados. Se excluyeron 10 artículos por el título y resumen al no contener la palabra efectividad o rehabilitación y otros 19 por no contener información útil y centrarse en evaluación con RV o en la efectividad de la RV en patologías/trastornos fuera de nuestro interés como esquizofrenia, cáncer, fobia o ansiedad. Finalmente, los 2 artículos restantes fueron leídos pero descartados por no aportar información suficiente. Por lo tanto, no se incluyó ningún artículo.

DOAJ

La búsqueda del DOAJ resultó en 15 artículos encontrados utilizando “virtual reality” y “brain injury” como términos de búsqueda. Entre estos, 8 artículos fueron descartados por no contener en el título y resumen las funciones ejecutivas ni cognitivas. De los 7 restantes, 6 artículos fueron descartados tras ser leídos por no contener suficiente información acerca de los efectos de la RV en las funciones ejecutivas o centrarse también en colectivos que no tenemos incluidos en los criterios de selección (personas menores de 20 años, mayores de 60 años sin patología asociada y demencias). Finalmente, el artículo restante fue incluido, ya que, a pesar de contener “funciones cognitivas” en el título y ser muy resumido, en la metodología y resultados incluyen datos sobre las funciones ejecutivas que creemos pueden ser relevantes en personas con DCA.

Pubmed

Se realizaron tres búsquedas en Pubmed; una búsqueda en castellano del cual se encontraron un total de 10 artículos, aunque todos fueron descartados por no estar relacionados con la rehabilitación utilizando la RV o ser artículos de revisión sistemática o metaanálisis. En la segunda búsqueda cambiamos las palabras de búsqueda de español a inglés “executive functions AND virtual reality” y se encontraron 289 resultados. Para acotar más la búsqueda, decidimos añadir que no buscará artículos con “dementia” utilizando el booleano NOT. Pasamos de 289 a únicamente 12. De estos, 8 no estaban relacionados con la RV, uno estaba repetido y dos se centran en la rehabilitación motriz combinado con TO y en intervenciones de RV semi-inmersivas. El artículo restante lo hemos incluido ya que cumple con los criterios de inclusión; la RV y pacientes con ictus. En la tercera búsqueda añadimos “brain damage”, quitamos la no búsqueda de “dementia” y obtuvimos 20 resultados. Entre estos, descartamos 19 por desviarse del tema del trabajo; población de jóvenes sanos, no habla de RV son revisiones y metaanálisis. El restante lo hemos incluido al hablar de la rehabilitación de las FFEE utilizando RV en personas con traumatismo craneoencefálico (TCE).

ScienceDirect

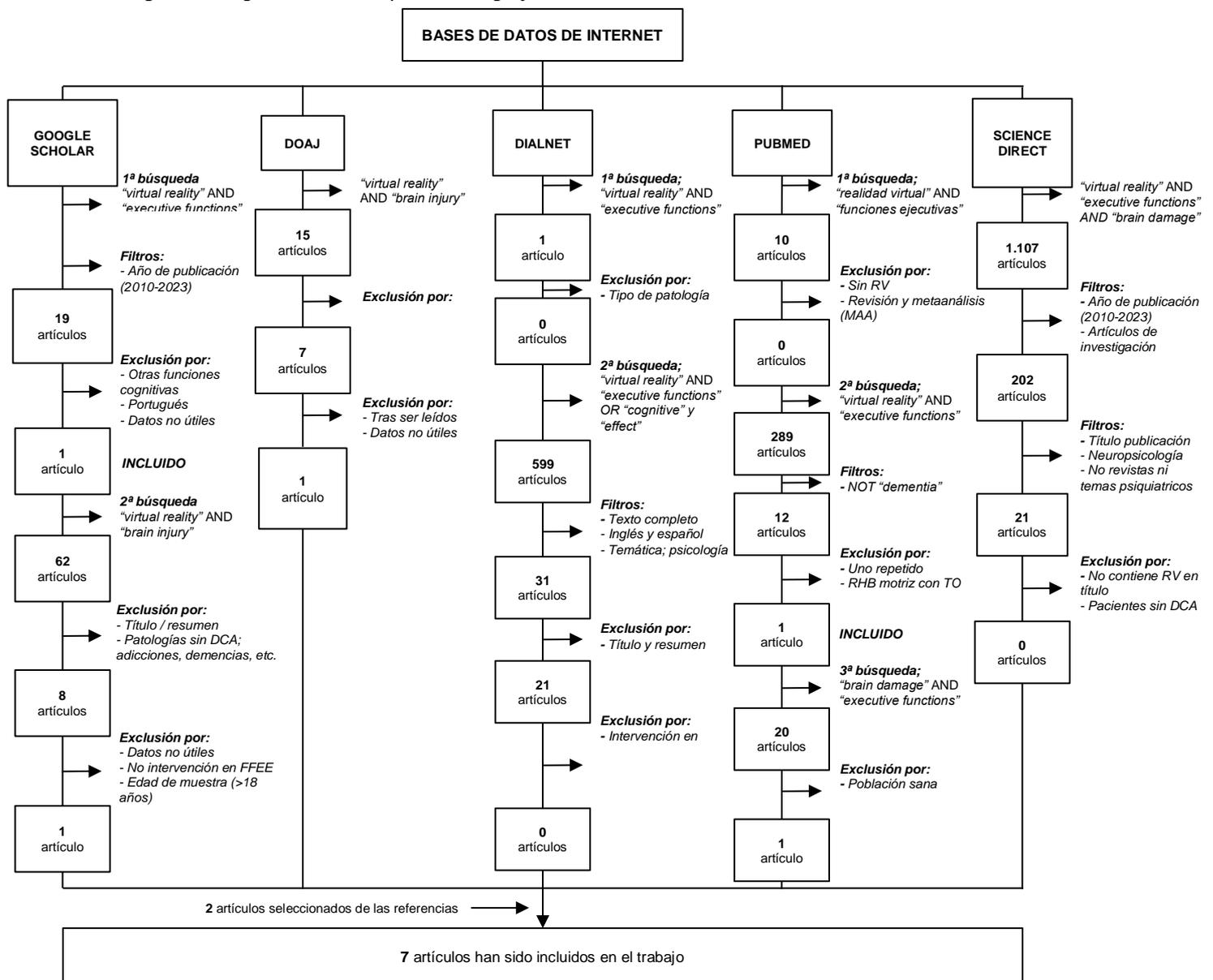
En la búsqueda de ScienceDirect se encontraron 1.107 resultados utilizando las palabras “executive functions”, “brain damage” y “virtual reality” en inglés. Después de refinar con filtros como los *años de publicación* (entre 2010 y 2023) y el *tipo de artículo* (investigación) los resultados se reducen a 202 artículos. Seguimos filtrando por título de publicación y descartamos todos aquellos que no están relacionados con la neuropsicología o el daño cerebral adquirido como es investigación psiquiátrica, cualquier tipo de revistas o temas de neuroanatomía, fisiología y conducta, entre otros, dejando 21 resultados. De estos, 16 se excluyen por no contener la RV en el título y los cinco restantes también se excluyen debido a que no cumplen con el perfil del paciente; pacientes con esclerosis múltiple, Enfermedad de Alzheimer, deterioro cognitivo leve, niños/as con TDAH o con el objetivo terapéutico.

Google Académico

La búsqueda en la base de datos de Google Académico se llevó a cabo en tres ocasiones. La primera búsqueda pretende encontrar artículos fechados entre el 2010 y 2022 que contengan las palabras “virtual reality” y “executive functions” y sin la palabra “dementia”. Además, el buscador nos permite priorizar que contenga una de las palabras utilizadas, a la cual escogemos “executive” antes que “virtual reality”. El motivo de esto es que, debido a la combinación de ambos términos, aunque exista una baja probabilidad de encontrar artículos relacionados con las FFEE sin incluir la realidad virtual y mayor probabilidad de encontrar artículos de realidad virtual, en el primer caso podría aparecer uno que incluyera la RV pero en el segundo caso es probable que no incluyesen siquiera las funciones cognitivas. Encontramos 19 artículos de los cuales 8 fueron revisados, pero finalmente fueron excluidos por no cumplir con los criterios de inclusión sobre las funciones ejecutivas (enfocan el estudio en otras funciones como atención, memoria o praxias). De los 11 restantes, 8 fueron excluidos por título y resumen al contener información no relevante (realidad virtual como herramienta evaluadora o patología; Enfermedad de Parkinson, depresión, deterioro asociado a la edad, etc.). De los tres restantes, uno es descartado por idioma en portugués y otro por estar repetido. El restante es incluido ya que utiliza la RV como herramienta para rehabilitar las FFEE.

La segunda búsqueda se realiza utilizando de nuevo el término “realidad virtual” pero cambiamos “executive functions” por “brain injury”. Obtenemos 62 resultados, de los cuales 54 se excluyeron por título y resumen al no cumplir los criterios de búsqueda como intervenir en pacientes con adicciones, con conmociones cerebrales y/o demencias. Tras ser leídos, otros 6 fueron excluidos por no intervenir sobre las funciones ejecutivas o por no aportar información relevante como utilizar la RV en otros ámbitos investigativos. De los 2 restantes, uno fue excluido por ser adolescentes o niños/as de entre 7 y 17 años. Finalmente, el artículo restante se incluye al utilizar la RV inmersiva como tratamiento para pacientes con DCA. Después de la lectura de los artículos incluidos se identificaron y añadieron 2 artículos nuevos provenientes de las referencias. Finalmente, se incluyeron 7 artículos originales (Fig. 3).

Figura 3. Diagrama de la búsqueda bibliográfica



3.4. Descripción de los artículos

El artículo revisado de **Kwong Man, et. al.**, [11] es un ensayo controlado aleatorizado centrado en el uso de la realidad virtual combinado con un programa tecnológico avanzado de inteligencia artificial (IA) como intervención alternativa a la psicoeducación para hacer posible que personas con DCA puedan volver a trabajar potenciando las habilidades para la resolución de problemas.

El estudio consiste en 12 sesiones para el grupo control (programa de entrenamiento psicoeducacional convencional – PEVST) y para el grupo experimental (inteligencia artificial en realidad virtual basado en el sistema de entrenamiento vocacional – AIVTS) que tienen como participantes un total de 40 pacientes (10 abandonos no incluidos) distribuidos aleatoriamente entre los grupos con daño cerebral adquirido (DCA) leve a moderado evaluados con el Glasgow Coma Scale (GCS) y teniendo en cuenta la duración de la APT y de la Pérdida de Conciencia (LOC). El grupo experimental se expone a un ambiente de entrenamiento virtual con un programa tecnológico avanzado de IA integrado el cual consiste en, simultáneamente, capturar y retroalimentar inmediatamente el rendimiento del paciente en la tarea en cuestión teniendo en cuenta información como los resultados pre-test, historial médico y comentarios del profesional. Del mismo modo, la IA también podía decidir si aumentar, mantener o reducir el nivel de dificultad de los ejercicios en posteriores sesiones para cada uno de los participantes entrenados según valores aceptables de parámetros como; cantidad de asistencia necesitada, precisión de aprendizaje de tarea después de sesión de entrenamiento o tiempo para finalizar la tarea. Cuanto mejor rendimiento mayor esfuerzo requerían las tareas.

Las valoraciones pre-test y post-test se llevan a cabo administrando el *Wisconsin Card Sorting Test – WCSR* [4] (flexibilidad, alternar uso de estrategias), el *Vocational Cognitive Rating Scale – VCRS* (deterioro cognitivo en puesto de trabajo) y la *Tower of London Test – TOL* [10] (planificación y resolución de problemas).

En el artículo de **Moraes y Paiva** [5] se analiza cómo el entrenamiento cognitivo combinado con la realidad virtual puede ayudar a pacientes con DCA moderado (puntuaciones: 9-12 según el Glasgow Coma Scale –GCS–) a severo (puntuaciones: 3-8) [2] en la rehabilitación de las funciones ejecutivas con el objetivo de que puedan recuperar cierto grado de autonomía. Secundariamente, también se analizan los principales síntomas de ciberenfermedad (mareos, náuseas, sudoración y malestar) inducidos al utilizar la tecnología de RV.

El estudio se compone de una pequeña muestra de 11 pacientes con DCA en grupo experimental. La intervención consiste en 12 sesiones de entrenamiento cognitivo durante tres días a la semana a lo largo de un mes utilizando el Oculus Rift siendo el juego GTA-V el entorno virtual por el cual interactúan. Las actividades consisten en cumplir con tareas que van aumentando cada tres sesiones y en las cuales se reducirá la ayuda empezando desde cómo ir desde una estación de metro a una tienda de ropa sin interferencias hasta cumplir con diferentes objetivos a lo largo de la misma ruta (coger diferentes objetos, parar en el semáforo, etc.).

Las pruebas neuropsicológicas para medir las funciones ejecutivas fueron el Five Digits Test (FDT) [22], subtests del Wechsler Adult Intelligence Scale (WAIS-III) como el Digits y el Number and Letter

Sequence (NLS) [27], el Controlled Oral Word Association Test (COWAT) - phonological (FAS) and categorical verbal fluency test (animals) [18] y el Wisconsin Card Sorting Test – Nelson (WCST-N) [6]. Para evaluar los síntomas de la ciberenfermedad se utilizó el Simulator Sickness Questionnaire (SSQ) [19] y para el estado emocional respondieron al Beck Depression Inventory – II (BDI-II) [24] y el Beck Anxiety Inventory (Beck-A) [21]. Se realizaron evaluaciones en tres etapas; pre, post y seguimiento (tres meses después) para comprobar la evolución y el mantenimiento de las funciones ejecutivas.

En el estudio de ensayo controlado aleatorizado de **Faria, et. al.**, [13] se investigan los beneficios en adultos que han sufrido alteraciones cognitivas y motrices debido a un ictus utilizando la realidad virtual como herramienta rehabilitadora. El ictus es una de las causas principales que provoca daño cerebral en las personas supervivientes. Estas lesiones pueden dejar graves secuelas cognitivas en el 40% de los casos y hasta un tercio sufren deterioro cognitivo leve con riesgo de desarrollar demencia [3]. Como consecuencia, los pacientes no son capaces de llevar a cabo actividades ni tareas habituales por lo que requieren de asistencia diaria. La recuperación de las funciones cognitivas recae entonces en programas de rehabilitación dirigidas a estimular dichas funciones.

La intervención consiste en la participación de 18 pacientes asignados aleatoriamente a dos grupos; nueve a uno experimental, en el cual utilizaran un simulador de RV (Unity 3D game engine) de Actividades de la Vida Diaria (ADL's) llamado Reh@City, y nueve a un grupo control, en el cual la intervención consiste en entrenamiento cognitivo mediante actividades que implican las funciones ejecutivas como el cálculo, puzzles, resolución de problemas y clasificación de formas. Se realizan 12 sesiones de 20 minutos cada una a lo largo de un mes y medio (4 a 6 semanas).

Se llevan a cabo evaluaciones pre y post utilizando baterías globales como el Addenbrooke's Cognitive Examination (ACE) [25] y para las funciones más específicas utilizan el Trail Making Test A y B (TMT-A y B) [12] para evaluar la atención alternante, la velocidad de procesamiento y la flexibilidad cognitiva. El Picture Arrangement subtest del Wechsler Adult Intelligence Scale III (WAIS-III) [26;27] evalúa las funciones ejecutivas como la comprensión verbal, el razonamiento lógico, secuenciación y organización, y el Stroke Impact Scale 3.0 (SIS 3.0) mide funciones motrices, memoria, estados emocionales y participación social.

El artículo de **Jacoby, et. al.**, [14] examina la efectividad de un supermercado de RV (VMall) [31] para la rehabilitación de las FFE en pacientes con lesión cerebral traumática (TBI), en comparación con la terapia ocupacional (OT) convencional, para proporcionar datos con respecto a los tamaños del efecto para el cálculo del tamaño de la muestra, así como para establecer un protocolo de intervención para futuros ensayos controlados aleatorios (*Randomized Control Trial* - RCT). Los entornos virtuales ofrecen una vía para rehabilitar las FFE por su validez ecológica.

En este estudio participaron doce hombres y mujeres divididos en dos grupos de seis, de 19 a 55 años de edad, que sufrieron una lesión cerebral traumática que provocó deficiencias en las FFE. Las medidas de resultado para ambos grupos fueron la Prueba de Diligencias Múltiples: Versión Simplificada (MET-SV modificado) [29] la cual consiste en evaluar las FFE en un centro comercial real

(validez ecológica) [32] y la Prueba de Rendimiento de Funciones Ejecutivas (EFPT) [30], la cual examina las FFEE durante el rendimiento de cuatro tareas diarias. El estado emocional se evalúa utilizando el Behavioral Assessment of the Dysexecutive Syndrome (BADS) [35]. El tratamiento cognitivo proporcionado a ambos grupos se basó en los mismos principios; los participantes del grupo experimental recibieron 10 sesiones de tratamiento basadas en RV no inmersiva (supermercado VMall) de 45 minutos y los participantes del grupo de control recibieron 10 sesiones de rehabilitación cognitiva convencional de terapia ocupacional sin RV.

El trabajo de **Shochat, et. al.**, [15], tiene como objetivo principal evaluar la viabilidad y aceptabilidad de una plataforma virtual para pacientes con lesión cerebral adquirida (LCA) que viven en la comunidad durante la fase crónica. Evaluar la eficacia inicial sobre las FFEE y los beneficios funcionales del programa de entrenamiento. Se describe una nueva plataforma de exergames, Active Brain Trainer (ABT), diseñada para apuntar directamente a FE, usando juegos en múltiples contextos realistas. El software se adapta en tiempo real al comportamiento del paciente, brinda retroalimentación y recompensas y, por lo tanto, puede mejorar la usabilidad y el cumplimiento.

Se instruyó a los participantes para que usarán el programa de juegos virtuales (entrenador cerebral activo, ATB), monitoreados por un profesional en línea, realizando 15 sesiones, con una duración promedio de sesión de 20 minutos. Seis participantes de la muestra lograron terminar con éxito la capacitación en juegos virtuales en el domicilio y sus respectivas evaluaciones, quedando otros aún en proceso de capacitación. Se reclutan pacientes adicionales para impulsar este ensayo preliminar. Se realizaron evaluaciones neuropsicológicas de FFEE y funciones de la vida diaria antes y después del entrenamiento: EFPT - subprueba Pago de Facturas [34]; Habilidades Ejecutivas: Medidas e Instrumentos para la Evaluación e Investigación del Neurocomportamiento (NIH-EXAMINER) [33]; Cuestionario Disejecutivo (DEX) [35] y Cuestionario de Experiencia y Usabilidad [36–38]. Todas las capacitaciones y evaluaciones se llevaron a cabo en los hogares de los participantes. El rendimiento del juego se registró a lo largo de las sesiones de entrenamiento. Se reclutó una muestra de conveniencia de nueve personas con LCA que vivían en sus hogares a partir de listas de hospitales a través del Hospital Lowenstein, Israel. Los seis participantes de la muestra lograron terminar con éxito la capacitación en juegos virtuales en el domicilio y sus respectivas evaluaciones, quedando otros aún en proceso de capacitación. Se reclutan pacientes adicionales para impulsar este ensayo preliminar.

El artículo de **Moraes, et. al.**, [16], es un estudio cuasi-experimental, con un solo grupo, donde se evalúa la viabilidad del entrenamiento cognitivo de RV inmersiva en FFEE y también pretendía proporcionar información para un ensayo definitivo. El objetivo fue evaluar la tolerabilidad de los pacientes con TCE después del uso prolongado del HMD Oculus Rift Development Kit-II (OR-DK2), un dispositivo de pantalla montada en la cabeza. También, como análisis exploratorio, se evaluaron los cambios en la cognición, incluida la función ejecutiva, la memoria y la velocidad de procesamiento después de la intervención.

Este estudio reclutó a 20 pacientes del servicio de consulta externa de Neurología, Hospital de Sao Paulo, Brasil. Se definió asistencia aceptable cuando las personas completaron al menos el 75% de las ocho sesiones de entrenamiento de RV, lo que resultó en una muestra final de 13 participantes masculinos (aunque uno de ellos mostró dificultades en la comprensión del Symbol Digit Test) con

edad promedio de 34.86, con TCE moderado a severo, según GCS, y un promedio de 305.23 días postraumáticos. El estudio consiste en doce sesiones de 20 minutos de RV inmersiva durante cuatro semanas en pacientes con TCE. La evaluación neuropsicológica se efectuó en tres etapas: al inicio (T1; pretratamiento), hasta una semana después de la última sesión (T2; postintervención) y tres meses después (T3; seguimiento). Las pruebas utilizadas para las FFE son el COWAT-FAS [18] y categoría Animales [20], Five Digit Test (FDT) y Digits span (invertido) [23] sin incluir otras que evaluaban diferentes funciones cognitivas. Se aplicaron al inicio, después de la intervención y a los tres meses de seguimiento. El Simulator Sickness Questionnaire (SSQ) se administró al final de cada sesión para evaluar la seguridad de la intervención.

La intervención de RV propuesta en este estudio requiere de muchas habilidades cognitivas y no fue diseñada para practicar dominios cognitivos específicos. Se registró y calificó el tiempo para completar cada tarea diaria de RV, la precisión del desempeño en cada tarea solicitada y la cantidad total de ayudas necesarias. En todas las sesiones, los pacientes debían memorizar y/o recordar el camino por una ciudad, llegar a una tienda de ropa y resolver problemas de la vida diaria en un mundo virtual similar al real. Las actividades y objetivos de la intervención intentaron ser lo más similares posible a las actividades del mundo real dentro del entorno virtual. Este trabajo evidencia la viabilidad de un método de entrenamiento cognitivo utilizando RV inmersiva en pacientes con TCE moderada y grave. y El uso de este tipo de dispositivo y videojuego con pacientes con TCE de moderada a grave parece ser seguro y bien tolerado.

El estudio de **Lo Priore, et. al.**, [17] discute el uso de sistemas inmersivos de realidad virtual para la rehabilitación cognitiva del síndrome disejecutivo. Los autores consideran dos aspectos fundamentales en la rehabilitación, la sensación de presencia y la validez ecológica con el uso de la tecnología. En relación a las herramientas de rehabilitación clásicas de P&P de computadora de pantalla plana (bidimensional o tridimensional) y los sistemas de realidad virtual inmersiva (RVI), este último podrían resultar capaces de evocar una sensación de presencia más intensa y convincente, gracias a la interacción sujeto-ambiente altamente naturalista permitida. Se analizó el papel que puede desempeñar la sensación de presencia evocada por un entorno virtual inmersivo en la rehabilitación cognitiva de las funciones ejecutivas. Se probó la presencia en un estudio piloto, aplicado en V-Store; permite a los pacientes explorar un entorno virtual donde resuelven seis series de tareas, ordenadas por complejidad y diseñadas para estimular las funciones ejecutivas, la programación, la abstracción categórica, la memoria a corto plazo y la atención. Se comparó el sentido de presencia experimentado por 12 sujetos normales no calificados, asignados aleatoriamente a sesiones inmersivas o no inmersivas (pantalla plana) de V-Store, a través de cuatro índices diferentes: cuestionario de autoinforme, psicofisiológico (GSR, conductancia de la piel), neuropsicológico (incidental recordar prueba de memoria relacionada con información auditiva proveniente del entorno "real") y conteo de pausas en presencia (BIP).

V-STORE fue diseñado para la rehabilitación de las funciones ejecutivas y algunas de sus características se extrajeron de procedimientos neuropsicológicos populares, como la prueba de la Torre de Londres y el WCST; permite a los pacientes explorar un entorno virtual (un almacén interno de mercancías) en el que cada sujeto tiene que resolver alguna secuencia de tareas, ordenadas en seis niveles de

complejidad creciente, es decir, poner piezas de fruta en cestas según una disposición impartida. Las tareas están diseñadas para estimular las funciones ejecutivas, la resolución de problemas, el control y la programación del comportamiento, la abstracción categórica, la memoria a corto plazo y la atención. Lo más importante es que se agrega una serie de elementos de distracción, con el objetivo de generar presión de tiempo y provocar estrategias de manejo, primer objetivo de la intervención rehabilitadora.

4. RESULTADOS

Tras analizar los artículos, la mayoría siendo ensayos controlados aleatorizados, con el propósito de investigar la efectividad de la RV en la rehabilitación de las funciones ejecutivas en pacientes con DCA, se ha podido dilucidar su efectividad con los resultados que a continuación expondremos. Aunque, también hemos incluido otras áreas exploradas, además de las funciones ejecutivas, como factores que podrían repercutir en los mismos resultados a pesar de no formar parte de nuestro foco. No obstante, deben ser interpretados con cautela ya que no existe ninguna correlación estadística:

Funciones ejecutivas

Los diferentes estudios que hemos analizado abarcan variadas dimensiones de las funciones ejecutivas ya que estas se componen de capacidades ejecutivas heterogéneas, y aunque se evalúen de manera cuasi independiente, el metaanálisis generado de los resultados de los artículos reunidos ayudarán a englobar las funciones ejecutivas como una dimensión.

En primer lugar, una de las capacidades ejecutivas que se evalúa es la **flexibilidad cognitiva** y la habilidad para **alternar estrategias** cognitivas según demandas externas utilizando el WCST [4], en este caso, la versión ordenador 4 [1]. El estudio de Kwong Man [11] muestra mejoras en la media de la post-evaluación del grupo experimental tras la intervención de la RV con inteligencia artificial integrada (AIVTS) en comparación con el grupo control, el cual recibe un entrenamiento psicoeducacional (PEVTS); WCST = *errores** (porcentaje de respuestas de sorteo de cartas que encaja con una categoría incorrecta) - 40,08 (AIVTS) < 53,12 (PEVTS); *errores perseverativos** (respuestas a una previa categoría correcta) - 21,88 (AIVTS) < 24,92 (PEVTS); *nivel de respuesta conceptual* (respuestas correctas consecutivas ocurridas en rachas de 3 o más) - 49,28 (AIVTS) > 30,16 (PEVTS) – las categorías con asterisco hacen referencia a que una puntuación menor es mejor–. Como consecuencia se observa un tamaño de efecto a favor del grupo experimental; WCST errores – 0,40 (AIVST) > 0,35 (PEVST); WCST errores perseverativos- 0,54 (AIVST) > 0,35 (PEVST); WCST nivel de respuesta conceptual – 0,53 (AIVST) > 0,19 (PEVST). Otros estudios como los de Moraes et. al., [5;16] muestran también resultados del WCST, en este caso se utiliza la versión modificada de Nelson, la cual se diferencia del formato convencional de Grant y Berg [7] en aspectos como retirar las cartas de respuesta que comparten más de un atributo con las cartas estimulantes (p. ej., forma y color) o explicar el cambio de norma cuando en el original solamente se informa de si la respuesta ha sido correcta o no [8]. Se observa una mejora en la media de la post evaluación ($M = 2,8 < 4,7$) [5] y también en la media de la puntuación Z hasta el seguimiento (3 meses) ($Z = \text{Pre}; -1.26, \text{Post}; -0.75, \text{Seg.}; -0.42$) [16] de los grupos experimentales con RV inmersiva.

Otra prueba que se utiliza para evaluar la flexibilidad cognitiva es el Trail Making Test B (TMT-B), sin embargo, los resultados también reflejan mediciones de otras funciones cognitivas como la atención alternante y la velocidad de procesamiento por lo que, aunque nos centremos en la flexibilidad no pretendemos ignorar la existencia de otras funciones implicadas en la evaluación de dicha prueba. Los resultados en el estudio de Faria et. al., [13] muestran que no hay una diferencia en las post-evaluaciones entre el grupo experimental (simulación de Actividades de la Vida Diaria (AVD) en una

ciudad virtual –Reh@City–) y el grupo control (entrenamiento cognitivo convencional) en el número de errores cometidos (errores = 3, $U = 35.500$, $Z = -.482$, $p = .666$, $r = .11$). En la pre-evaluación ambos grupos tardaron lo mismo en realizar la tarea (360 segundos) no obstante, aunque no es una diferencia significativa ($U = 39.000$, $Z = -.132$, $p = .931$, $r = .03$), en la post-evaluación el grupo experimental tardó menos tiempo en completar la tarea comparado con el grupo control; 240 < 296 segundos, respectivamente.

Otra de las habilidades ejecutivas que se evalúa es la **planificación** y la **resolución de problemas** utilizando la prueba Torre de Londres (TOL) [10]. En este caso, los resultados de la post-evaluación tras iniciar una intervención con RV no inmersiva muestran una pequeña diferencia del grupo experimental comparado con el grupo control (TOL = 26,92 (AIVST) > 26,48 (PEVST) [11].

La **memoria de trabajo** es un sistema complejo que abarca varias funciones, y aunque no se considere una función ejecutiva en sí misma, es un sistema que forma parte de las funciones frontales que habilitan algunas capacidades ejecutivas, entre ellas, el razonamiento o la toma de decisiones. El sistema se compone por el ejecutivo central gracias al cual podemos prestar atención y retener la información en la memoria a corto plazo (MCP) para que esta pueda ser repetida subvocalmente (bucle fonológico) y manipulada mentalmente (agenda visuoespacial) [28]. Una de las pruebas que se utilizan es Dígitos en orden inverso (DI) y el Number and Letter Sequencing (NLS). Los resultados de Moraes et. al., revelan una mejora en la media de la post-evaluación del grupo experimental en la prueba NLS = 5.5 < 6.1, pero no en DI; $M = 9.6 > 9.1$ [5], $Z = -0.30 > -0.56$ [16]. No obstante, en el seguimiento de tres meses se observa una mejora tanto en DI; $M = 9.1 < 11.7$ [5], $Z = -0.56 < -0.22$ [16] como en la NLS = 6,1 < 7,0, aunque de solamente 3 pacientes de 11 iniciales [5] y recordemos que no tiene grupo control.

Ahora valoraremos los resultados de la **inhibición** la cual también forma parte de las funciones ejecutivas. De nuevo, Moraes et. al., utiliza el Five Digits Test (FDT) el cual se compone de cuatro tareas que evalúan diferentes funciones (atención alternante, inhibición y velocidad de procesamiento). En este caso, solamente una tarea evalúa la inhibición, pero también está presente en otras tareas. Por lo que, aunque la tabla de resultados que obtenemos únicamente nos muestra el tiempo que ha necesitado para terminar todas las tareas, podemos dilucidar que existe una mejora en la habilidad inhibitoria al lograr que el tiempo y la puntuación requerida para completar la prueba disminuyera, tanto en la post-evaluación como en el seguimiento (107.82 > 77 segundos [5]; $Z = -0.88 < -0.62 < -0.44$ [16]) aunque con un ligero enlentecimiento en uno de los estudios (77 < 88.62s) [5].

La **fluencia verbal** es la capacidad de producir un habla espontánea fluida y tener facilidad para acceder al léxico y categorías semánticas. Los resultados de la pre y post-evaluación utilizando el FAS y Animales del COWAT en el grupo experimental de RV inmersiva [5] reflejan una mejora en el rendimiento (FAS; $M = 18.4 < 24.4$ [5], $Z = -2.31 < -2.08$ [16] y Animales; $M = 12.8 < 14.5$ [5], $Z = -1.88 < -1.66$ [16]). Durante el seguimiento se sigue observando una mejora en la prueba de Animales respecto a la post-evaluación ($M = 14.5 < 16.7$ [5]) aunque un grupo experimental no mejoró en el seguimiento ($Z = -1.66 > -1.70$ [16]). En la subprueba de FAS tampoco mejora respecto a la post, pero sigue siendo mejor resultado que en la pre-evaluación ($M = 18.4 < 22$ [5], $Z = -2.31 < -2.17$ [16]). En el

ACE podemos observar que el grupo control con entrenamiento cognitivo convencional saca mayor media que el grupo experimental ($M = 6 > 5$) con RV no inmersiva en la pre-evaluación. Sin embargo, en la post-evaluación el grupo experimental mejora levemente en comparación con el grupo control ($M = 5 < 6$). Se observan diferencias significativas entre grupos en la tarea de fluencia con mejoras en el grupo experimental en comparación con el grupo control ($U = 13.000$, $Z = -2.487$, $p = .014$, $r = .59$) [13].

El **conocimiento social, la organización y el razonamiento lógico** se evalúan mediante la subprueba Picture Arrangement Test del WAIS-III en el cual se trabaja la anticipación de las consecuencias de actos iniciales o situaciones al igual que la habilidad para saber interpretar situaciones sociales. Ambos grupos (control y experimental) [13] obtienen los mismos resultados durante la pre-evaluación ($M = 2 \neq 2$). No obstante, en la post-evaluación el rendimiento mejora ligeramente en el grupo experimental ($M = 2 < 4$). Se observan diferencias dentro del grupo experimental (W –diferencias dentro de grupos– = 21.000, $Z = -2.232$, $p = .026$, $r = .74$) pero no dentro del grupo control ($W = 2.000$, $Z = -.447$, $p = .655$, $r = .15$) Se encuentra que hay una tendencia significativa al final de la intervención de una mejora en el rendimiento del grupo experimental comparado con el grupo control ($U = 19.500$, $Z = -2.042$, $p = .063$, $r = .24$).

Los siguientes artículos administran pruebas donde evalúan diferentes capacidades ejecutivas, pero sin llegar a ser específicas por lo que la evaluación realizada es más global dificultando el análisis del rendimiento de los participantes en cada función ejecutiva. Observamos que otra de las dimensiones de las FFEE trabajadas en los estudios analizados, corresponde al proceso de **desempeño funcional** de las FFEE en la realización de algunas actividades de la vida cotidiana, especificadas en las capacidades de **planificación de tareas, desempeño de la tarea, gestión del tiempo, monitoreo del desempeño** y estrategias metacognitivas; Jacoby, et. al., [14] evalúa con el MET-SV (prueba de diligencias múltiples, versión modificada) y el EFPT (prueba de desempeño de las FFEE). Al grupo control se le realiza rehabilitación cognitiva convencional de Terapia Ocupacional y al grupo experimental se efectúa una intervención de realidad virtual no inmersiva (supermercado virtual).

Según el test de Mann-Whitney, no existen diferencias significativas en las puntuaciones totales del MET-SV ni del EFPT entre los grupos antes y después de la intervención. No obstante, los participantes del grupo experimental mejoraron en ambas pruebas en sus puntuaciones finales en relación con sus puntuaciones iniciales; MET-SV ($M = 46.21\%$, $SD = 37.06$, mediana = 62.28), en comparación al grupo control ($M = 13.52\%$, $SD = 19.93$, mediana = 14.35) ($Z = -1.761$, $p = 0.046$; $ES = 0.51$) y EFPT ($M = 35.5\%$, $SD = 19.63$, mediana = 37.63), en comparación con el grupo de reentrenamiento convencional ($M = 16.44\%$, $SD = 16.77$, mediana = 18.4) ($Z = -1.761$, $p = 0.046$; $ES = 0.51$). De acuerdo a la prueba de Wilcoxon, tampoco se encontraron diferencias significativas intragrupalas en ninguna de las pruebas (MET-SV y EFPT) antes y después de la intervención, aunque en el grupo experimental se observa un mayor tamaño de efecto en ambas pruebas; MET-SV (antes: $M = 40.0$, $SD = 9.09$, mediana = 39.5 y después: $M = 21.58$, $SD = 16.64$, mediana = 16.5; $Z = -1.782$, $p = 0.038$; $ES = 0.73$) y EFPT (antes: $M = 45.17$, $SD = 10.85$, mediana = 42.5 y después: $M = 27.83$, $SD = 5.78$, mediana = 28; $Z = -2.201$, $p = 0.014$; $ES = 0.90$). No obstante, en el grupo control también se observa una mayor tamaño de efecto, pero únicamente en la prueba de EFPT (antes: $M = 38.33$, $SD = 10.84$, mediana = 36.5 y después: $M = 31.0$, $SD = 6.07$, mediana = 30.5; $Z = -1.753$, $p = 0.04$; $ES = 0.72$).

En relación con los resultados obtenidos por el estudio de Shochat et. al. [15] se reporta que los participantes **informaron subjetivamente niveles moderados de mejora, tanto cognitiva** como motora. El estudio solo explica que los participantes pudieron realizar tareas de FFE cada vez más desafiantes dentro de los entornos del juego, demostrados en los aumentos graduales en las etapas de cada juego. Se muestra que los participantes se acercaron a los niveles más altos del juego (puntuación cercana a 1), en los juegos dirigidos principalmente a la **inhibición de la respuesta**, atención sostenida y la **multitarea**. Por otro lado, aunque no se acercaran a una puntuación tan alta, hay otros juegos donde también mejoraron a lo largo de las sesiones relacionados con funciones como la **flexibilidad cognitiva** (sesión 6 = 0.7), la **memoria de trabajo** (sesión 4 = 0.5), la **planificación** (sesión 5 y 6 = 0.3) y la **toma de decisiones** (sesión 3 = 0.35) No se realizaron pruebas de significación dado el pequeño tamaño de la muestra.

Presentaron los resultados agrupando los instrumentos en función de la función cognitiva respectiva evaluada en tres dominios cognitivos, **índice de funciones ejecutivas (FEi)**, índice de memoria e **índice de velocidad de procesamiento**, así como análisis exploratorio [16]. El programa de medidas repetidas de una vía (ANOVA) mostró cambios estadísticamente significativos en las puntuaciones de FEi a lo largo del tiempo, $F(2, 24) = 7.32$ $p < 0.01$, η^2 parcial = 0.38. Las puntuaciones de FEi aumentaron de T1 (M= -1.33, SD= 0.46) a T2 (M= -1.13, SD= 0.52) y a T3 (M= -0.99, SD = 0.64). Los resultados muestran que, si bien los participantes habían mejorado su desempeño en el dominio cognitivo FE, comparando la primera (T1) y la evaluación final (T3) ($p = 0,02$), no hubo diferencias estadísticas al final de la intervención para los dominios FE, memoria y velocidad de procesamiento. Además, no se observaron cambios estadísticamente significativos cuando se analizaron las pruebas de FFE individualmente en la mayoría de los instrumentos de evaluación: COWAT-FAS $F(2, 24) = 1,51$, $p = 0,24$, η^2 parcial = 0,11; COWAT-Animales $\chi^2(2) = 0,62$, $p = 0,73$; Intervalo de dígitos (hacia atrás) $\chi^2(2) = 3,05$, $p = 0,22$; FDT (desplazamiento) $\chi^2(2) = 3,56$, $p = 0,17$, LNS $\chi^2(2) = 3,74$, $p = 0,15$.

El último estudio seleccionado para este trabajo tiene la particularidad de presentar una muestra de doce participantes sin alteración neurológica, el cual corresponde a Lo Priore et. al., quienes nos ofrecen la oportunidad de conocer el resultado del análisis que realizaron en relación con el impacto que tiene la **sensación de presencia** (con pruebas fisiológicas, medidas neuropsicológicas y cuestionario de autoinforme) evocada por un entorno virtual inmersivo en la rehabilitación cognitiva de las funciones ejecutivas. Y nos proporcionan la posibilidad de confirmar la validez ecológica de las intervenciones con el uso de la tecnología, además de la facilidad de uso y los factores motivacionales. A través de la intervención de dos grupos experimentales, unos con RV inmersiva y otro con RV no inmersiva (uso de pantalla plana) con el uso V-STORE (tareas diseñadas para estimular las FE: **resolución de problemas, el control y la programación del comportamiento, la abstracción categórica**, la memoria a corto plazo y la atención).

En relación con los resultados presentados observamos que solo se hallaron diferencias significativas entre las puntuaciones de los grupos inmersivo y no inmersivo, fueron las del índice GSR de "tarea" (cambios en la conductancia de la piel relacionados con el paso de la exploración libre de V-STORE a la realización de tareas específicas en el mismo entorno) y el factor "efectos negativos" del cuestionario ITC-SOPI (medida de autoinforme; versión italiana, actualmente en validación). Los datos sobre la conductancia de la piel, aunque no fueron concluyentes, los autores sugieren que esto indicaría que

los sujetos del grupo "inmersivo" experimentan una mayor activación psicofisiológica durante la realización de V-Store, y esto podría interpretarse razonablemente como un signo de mayor sensación de presencia percibida.

No se encontraron entre los grupos diferencias estadísticas significativas sobre los demás índices utilizados (neuropsicológico y autoinforme). No obstante, se encontraron con una discrepancia entre esta medida subjetiva y medidas más objetivas (especialmente fisiológicas), por lo que sugieren que pueda ser considerada para que futuras investigaciones puedan corroborarlo, ya que este estudio tuvo una muestra piloto muy pequeña.

Estado emocional

Se busca una posible correlación entre el estado emocional y los resultados del entrenamiento cognitivo. En algunos estudios [5;11;13;16] se observan mejoras en el estado de ánimo (depresión), aumento en las AVD, en la motivación e incluso reducción de la ansiedad pudiendo influir en la mejora de los resultados cognitivos. En contraste, otros estudios [14] no tuvieron pacientes con síntomas depresivos o ansiosos según el Behavioral Assessment of the Dysexecutive Syndrome (BADS).

Para evaluar la **depresión** han utilizado el Beck Depression Inventory II (BDI-II) observándose mejoras en el estado anímico del grupo experimental, tanto en la post-evaluación como en el seguimiento, en comparación con los resultados de la pre-evaluación ($M = 18.5 > 10.75 > 8$) [5]. No obstante, no se observa una correlación entre las FFEE y la depresión ($r(11) = -0.11, p = 0.85$) ni diferencias estadísticamente significativas ($\chi^2(2) = 5.04, p = 0.08$) a pesar de notar una reducción desde la pre-evaluación hasta el seguimiento (T1; Mediana = 14.00, IQR = 6.50, 28.50, T2; Mediana = 11.00, IQR = 3.00, 22.00, T3; Mediana = 5.00, IQR = 2.50, 16.50) [16].

En el caso de la **ansiedad** se ha utilizado el Beck Anxiety Inventory (BECK-A) con resultados que reflejan una mejora del estado ansioso en la pre-evaluación hasta el seguimiento ($M = 7.6 > 4.63 > 4.33$) [5]. Sin embargo, no se observa una correlación entre las FFEE y la ansiedad ($r_s = -0.02, p = 0.94$) [16].

En otro estudio [13] se ha evaluado el **bienestar emocional** con el Stroke Impact Scale 3.0 (SIS) en el cual hemos incluido la emoción y la participación social, ya que esta última puede tener una correlación con una mejora emocional. Se observan cambios significativos dentro del grupo experimental ($W = 40.500, Z = -2.136, p = .033, r = .71$) al igual que en la participación social ($W = 34.000, Z = -2.240, p = .025, r = .75$). En el grupo control también se observan cambios significativos para la participación social social participation ($W = 36.000, Z = -2.521, p = .012, r = .84$) pero no para la emoción ($W = 30.000, Z = -1.682, p = .092, r = .56$). En definitiva, aunque se observan mejores resultados entre el grupo control y el experimental en la post-evaluación ($M = 66.67 < 83.3$, respectivamente), no hay cambios significativos entre ambos grupos.

Respecto a la **autonomía** (actividades de la vida diaria) esta es evaluada utilizando el mismo SIS. En el grupo experimental no hay cambios significativos intragrupal ($W = 38.000, Z = -1.840, p = .066, r = .61$) ni tampoco en el grupo control ($W = 38.000, Z = -1.838, p = .066, r = .61$). Aunque se obtengan

mejores resultados en el grupo experimental en comparación con el grupo control ($M = 45.8 < 56.3$) no se observan cambios significativos entre ambos grupos [13].

En el estudio de Shochat, et. al. [15] los participantes declaran haber aumentado sus niveles de satisfacción ($M = 4.0$, Desviación típica (SD) = 0.9) y motivación ($M = 4.2$, SD = 0.8) durante el entrenamiento afirmando la mayoría de los participantes (5/6) que les gustaría utilizar el programa como parte de su tratamiento, tanto cognitivo como motriz, desde casa al notar resultados ($M = 3.0$, SD = 1.7; $M = 3.5$, SD = 1.5, respectivamente). Además, afirman no tener dificultades para entender la retroalimentación del programa ($M = 4.2$, SD = 0.8).

Por último, en algunos estudios que se utiliza la RV inmersiva se evaluaban los síntomas negativos como consecuencia del uso prolongado del HMD (ciberenfermedad) pudiendo llegar a causar malestar. Al ser tecnología reciente, los participantes no están acostumbrados a moverse dentro de un ambiente virtual y tampoco está adaptada para pacientes con DCA. Por ello se administraba el SSQ y aunque en las primeras sesiones los participantes presentaron poca tolerabilidad (síntomas severos de mareos, náuseas, sudoración o malestar estomacal; $M = 5.1$, $SD \pm 7.87$ [5], $M = 4.33$ [16]), con el paso de las sesiones (12 sesiones) los síntomas fueron disminuyendo hasta prácticamente en las últimas sesiones no estar presentes pudiendo completar siempre las sesiones ($M = 1.22$, $SD \pm 1.99$) [5].

5. DISCUSIÓN

Las FFEE, como ya hemos explicado, se componen de diferentes capacidades ejecutivas, y dependiendo de los objetivos de cada artículo se han evaluado y tratado unas funciones ejecutivas determinadas, las cuales hemos podido observar que mejoran en comparación con los resultados de las intervenciones clásicas o convencionales. Asimismo, aunque el objetivo principal de los artículos analizados pueda variar ligeramente entre sí (validez ecológica [13; 14], volver al trabajo [11], volver a ser funcional [5;15;16]) tienen en común un objetivo; facilitar la recuperación de la mayor autonomía posible. Rehabilitando las FFEE aumentan las posibilidades de mejorar la capacidad de autonomía de la persona, lo cual le puede permitir ser más funcional en actividades de la vida diaria, volver al trabajo y participación social.

Uno de los objetivos de estos artículos ha sido la reinserción laboral de personas que han sufrido DCA (Kwong Man, et. al., [11]). En este caso, el interés se centra en una capacidad ejecutiva específica que resulta fundamental para poder ejercer funcionalmente un trabajo; la resolución de problemas. La resolución de problemas implica trabajar la comprensión y la planificación, entre otras funciones, para que una persona pueda desempeñar recursos que permitan desenvolverse en situaciones nuevas y, por ende, tener mejores oportunidades laborales. Se observó que a los seis meses se redujo el porcentaje de desempleo en ambos grupos, pero los participantes del grupo experimental pudieron optar a puestos de trabajo de mayor exigencia (repcionista, asistente de tienda u oficina), aunque sin diferencias significativas.

Como comentaremos más adelante, hay limitaciones en los estudios encontrados, como el tamaño de muestra, grupos heterogéneos, pacientes con mayor afectación en un grupo que en otro, etc., pero podemos evidenciar que los tratamientos basados en RV tienen la capacidad de ser un tratamiento ecológico válido con mayor impacto en las actividades diarias comparado con tratamientos más convencionales. Según el estudio de Faria, et. al., [13] ha encontrado evidencias, sobre todo respecto a las funciones ejecutivas, ya que la mejora del grupo experimental en las pruebas relacionadas con resolución de problemas (Picture Arrangement Test) y flexibilidad (fluencia verbal) es significativa comparado con el grupo control.

De hecho, la mayoría de las puntuaciones de evaluación que comprenden las medidas de resultado en el estudio de Jacoby, et. al., [14] indican que el tratamiento a través del uso del entorno de tratamiento virtual ecológicamente válido, el VMall, muestra una tendencia a ser más eficaz que el tratamiento sin RV en terapia ocupacional. Se encontró evidencia en los participantes que pudieron pasar del tratamiento de realidad virtual a funcionar en el mundo real, tanto en actividades similares (compras en el supermercado) como en la realización de actividades adicionales de AVDI. Este estudio proporciona una contribución importante, ya que es uno de los primeros estudios realizados, junto con el de Faria et. al., [13], que utiliza un formato RCT con una evidencia inicial sobre el grado de transferencia de los principios del tratamiento de un entorno virtual a un entorno real.

Hemos observado que los pacientes quedaron satisfechos con los programas y estaban interesados en incluirlo como parte de su tratamiento. Los resultados del estudio piloto de Shochat, et. al., [15], sugieren tendencias de beneficios prometedores para las personas que viven con daño cerebral, años

después de la lesión, una población clínica que a menudo carece de rehabilitación cognitiva. Es importante destacar que los resultados sugieren que el entrenamiento de FFEE con Active Brain Trainer (ABT) tiene el potencial de lograr una "transferencia lejana". Si se llegara a evidenciar con más estudios la validez ecológica, la RV sería una alternativa para realizar la intervención en el hogar con el uso de dispositivos tecnológicos alternativos ya que, además, podría resultar en una disminución de costo económico del proceso de rehabilitación. De acuerdo con las evaluaciones neuropsicológicas en el artículo de Moraes, et. al., [5;16] demuestran mejoría en las FFEE después de la intervención. Destacan además que los participantes presentaron síntomas de ciberenfermedad, pero gradualmente, conforme avanzaban en las sesiones, se fueron reduciendo debido a la habituación.

Por otro lado, los datos que muestran los autores Lo Priore, et. al., [17] acerca de la conductancia de la piel, si bien no son concluyentes, especulan con que estos indicarían que los sujetos del grupo "inmersivo" experimentan una mayor activación psicofisiológica durante la realización de V-Store, y esto podría interpretarse como un signo de mayor sensación de presencia percibida. Se debe tener en cuenta que este trabajo fue realizado con una muestra piloto muy pequeña con población sana. Si bien los autores no logran una conclusión de los datos parciales obtenidos, realizan una observación acerca de una discrepancia entre la medida subjetiva y medidas más objetivas (especialmente fisiológicas), que, si es corroborada por futuras investigaciones, podría agregar un nuevo elemento al creciente interés por esta temática.

El estado emocional es una parte fundamental en la rehabilitación del daño cerebral, en este caso de las FE. El aumento del bienestar emocional en algunos casos puede deberse a la sensación de mejora que obtienen gracias al programa o la intervención escogida. Jacoby, et. al., [14] destaca la motivación y el disfrute que los pacientes expresaron durante la intervención y, aunque la evaluación subjetiva de VMall no se documentó formalmente, sí se demostró mediante el cumplimiento de las intervenciones. Esto es gracias a la calidad del programa, a la ausencia de errores o la forma en cómo se explican las instrucciones, se transmite la información y los resultados, clara y concisa, como hace Shochat, et. al., [15], a pesar de demasiada complejidad en todo lo que implica el material para su uso (set-up, HDM, RV inmersiva o no). Los participantes se sienten estimulados, sienten que mejoran, y la gran ventaja de la inteligencia artificial en la RV es que se pueden autorregular los niveles de dificultad según su rendimiento evitando la frustración de los participantes como en el estudio de Kwong Man et. al., [11]. También encontramos que las características inmersivas de la VR permiten proveer de un entorno de estimulación controlada que invitan al participante a involucrarse más y de una manera más dinámica e interactiva haciendo que la motivación y el interés fomentado aumenten las posibilidades de consolidar nuevos aprendizajes. Esto permite generar resultados positivos que les hace querer seguir entrenando, aumentando la motivación lo cual conduce a una mayor implicación, a un mayor esfuerzo cognitivo y ello a poder entrenar con nuevos niveles y juegos que permitan prolongar y profundizar el entrenamiento.

Mientras que el número de artículos publicados ha aumentado año tras año, el estudio de la eficacia de los programas informáticos empleados en ellos es complejo, siendo difícil extraer resultados concluyentes al respecto. Los estudios revisados muestran resultados contradictorios, no tanto en cuanto a la mejora en el rendimiento de las funciones ejercitadas, sino a la generalización de estos efectos y, concretamente, a la repercusión sobre las actividades de la vida diaria. Valoran, en una

muestra heterogénea de pacientes con daño cerebral adquirido, la eficacia de dos programas de rehabilitación informatizados. Los resultados muestran una mejora significativa en los test neuropsicológicos administrados al finalizar el tratamiento, independientemente del programa informático recibido. No obstante, la heterogeneidad de la muestra, junto con la ausencia de un grupo control sin tratamiento, limita el valor de estos resultados [citado en Noreña et. al.[40:41]].

Limitaciones

Es necesario destacar que la mayor parte de los estudios se centra en el tratamiento de funciones cognitivas específicas mediante un reducido número de tareas, y sin variabilidad en sus niveles de dificultad. Otros problemas son la falta de consistencia de las medidas empleadas para valorar los resultados o limitaciones metodológicas, como la ausencia de grupo control o la pobre caracterización de los sujetos.

En otros casos, a pesar de que puedan dar buenos resultados en un ambiente controlado, no avalan una validez ecológica. Por ejemplo, en Kwong Man, et. al., [11], según los on-site tests (tests en el lugar), los participantes no pudieron aplicar las habilidades aprendidas en un ambiente laboral real. No obstante, mostraron un mejor rendimiento que los participantes del grupo control lo cual sugiere que el entrenamiento en la resolución de problemas dentro de un contexto laboral puede ser efectivo.

Las muestras pequeñas, estudios sin grupo control (Moraes et. al., [5;16]) o los criterios de selección también pueden dificultar la fiabilidad del tratamiento con RV en los pacientes con DCA. Todos los estudios analizados contienen una muestra reducida de entre 6 y 18 pacientes a excepción del estudio de Kwong Man, et. al [11] en el cual hay una muestra de 40 participantes. Por ejemplo, Jacoby, et. al., [14] presenta una muestra pequeña (12) y las edades de los participantes, los niveles de función y el tiempo transcurrido desde la lesión eran heterogéneos; por lo tanto, los resultados deben interpretarse con cautela y utilizarse principalmente como ayuda para el diseño de futuros ECA que utilicen un paradigma similar.

Se requieren seguimientos a largo plazo para evaluar la estabilidad de los cambios positivos observados en esta muestra inicial de Shochat, et. al. [15]. En segundo lugar, dado que los pacientes alcanzan efectos máximos en algunos de los juegos en la actualidad probados, actualmente se desarrollan y agregan nuevos niveles a los juegos para permitir un entrenamiento más prolongado y profundo. Los datos que muestran los autores Lo Priore, et. al., [17], a diferencia de otros artículos relacionados específicamente con daño cerebral y FFEE, este cuenta con una muestra piloto muy pequeña y con población sana.

6. CONCLUSIONES

De acuerdo con los siete estudios analizados en el presente trabajo, podemos concluir primeramente que, a pesar del avance abrupto y progresivo de la tecnología en estos tiempos, relacionado al ámbito de la neurorrehabilitación, hemos encontrado pocos estudios disponibles que respalden el trabajo con el uso de dispositivos de realidad virtual en la rehabilitación de las funciones ejecutivas en personas con daño cerebral. Quizás, las variables de búsqueda fueron muy específicas o también encontramos limitaciones para el acceso a los artículos de pago. Otro aspecto que nos llamó la atención fue encontrar en los estudios muestras muy pequeñas, inclusive algunas con solo grupo experimental, heterogeneidad en las características de los participantes (edades, características lesionales, tiempos de evolución, etc.), evaluaciones que sólo median algunos aspectos de las FFEE y solo en algunos casos se esboza la transferencia a la vida cotidiana.

Hemos encontrado que la evidencia en los resultados de las evaluaciones realizadas en los diferentes estudios, sí bien se esmeran por mostrar diferencias mínimas en favor del uso de la realidad virtual en la rehabilitación de las FE, estas no son significativamente contundentes como para afirmar el uso terapéutico de estas e inclusive su seguridad, ya que cuando se evalúan síntomas de ciberenfermedad, los datos no descartan síntomas.

Finalmente, destacamos que, si bien no podemos confirmar contundentemente la efectividad del uso de estos dispositivos tecnológicos de RV, coincidimos con los autores que presentan potencialmente beneficios prometedores tanto para la rehabilitación del paciente, como para la facilitación del trabajo del terapeuta respecto a las posibilidades de poder graduar y personalizar las sesiones, trabajar a distancia, obtener registros y evoluciones específicas, entre otras. Por lo tanto, nos parece que estamos en un proceso de transición y de exploración del uso de la tecnología, mientras la ciencia aún se encuentra en proceso de investigación.

7. BIBLIOGRAFÍA

- (1) Heaton, R. K., Chelune, G. J., Talley, J. L., Kay, G. G. & Curtis, G. (1993). Wisconsin Card Sorting Test (WCST) Manual: revised and expanded. Odessa, FL: Psychological Assessment Resources.
- (2) Balestreri, M., Czosnyka, M., Chatfield, D. A., Steiner, L. A., Schmidt, E. A., Smielewski, P., Matta, B. & Pickard, J. D. (2004). Predictive value of Glasgow Coma Scale after brain trauma: change in trend over the past ten years. *Journal of Neurology, Neurosurgery & Psychiatry*. Jan 1;75 (1):161-2.
- (3) Madureira, S., Guerreiro, M. & Ferro, J. M. (2001). Dementia and cognitive impairment three months after stroke. *Eur J Neurol*. 8(6):621-7.
- (4) Heaton, R. K., Chelune, G. J., Talley, J. L., Kay, G. G. & Curtis, G. (1993). Wisconsin Card Sorting Test (WCST) Manual. Odessa, FL: Psychological Assessment Resources.
- (5) Moraes, T. M. & Paiva, W. S. (2019). Proceedings #17: Immersive Virtual Reality Cognitive Training for Patients with Moderate to Severe Traumatic Brain Injury. *Brain Stimulation*. 12(2):79-80, ISSN 1935-861X. <https://doi.org/10.1016/j.brs.2018.12.186>.
- (6) Nelson, H. E. (1976). A modified card sorting test sensitive to frontal lobe defects. *Cortex*; 12:313-24.
- (7) Grant, D. A. & Berg, E. A. (1948). A behavioral analysis of degree of reinforcement and ease of shifting to new responses in a Weigl-type card sorting problem. *J Exp Psychol*; 34:404-11.
- (8) Greig de Zubizaray & Roderick Ashton (1996). Nelson's (1976) Modified Card Sorting Test: A Review. *The Clinical Neuropsychologist*; 10(3):245-254.
- (9) <https://www.bioclever.com/es-ES/ensayos-clinicos-controlados-no-controlados-n-40-es>
- (10) Shallice, T. (1982). Specific impairment of planning. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*, 298:199-209.
- (11) Kwong Man, D. W., Poon, W. S. & Lam, C. (2013). The effectiveness of artificial intelligent 3-D virtual reality vocational problem-solving training in enhancing employment opportunities for people with traumatic brain injury. *Brain Inj*; 27(9):1016-1025.
- (12) Reitan, R. M. (1958). Validity of the trail making test as an indicator of organic brain damage. *Percept Mot Skills*; 8(3):271-6.
- (13) Faria, A. L., Andrade, A., Soares, L. & Bermúdez i Badia, S. (2016). Benefits of virtual reality based cognitive rehabilitation through simulated activities of daily living: a randomized controlled trial with stroke patients. *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation*; 13: 96.
- (14) Jacoby, M., Averbuch, S., Sachar, Y., Weiss, P. L., Kizony, R., & Katz, N. (2011). Effectiveness of executive functions training within a virtual supermarket for adults with traumatic brain injury. *Paper presented at the International Conference on Virtual Rehabilitation (ICVR)*, Zurich, Switzerland.

- (15) Shochat, G., Maoz, S. Stark-Inbar, A., Blumfeld, B., Rand, D., Preminger, S. & Sacher, Y. (2017). Motion-based virtual reality cognitive training targeting executive functions in acquired brain injury community-dwelling individuals: a feasibility and initial efficacy pilot. 10.1109/ICVR.2017.8007530.
- (16) Moraes, T. M., Zaninotto, A. L., Neville, I. S., Hayashi, C. Y. & Paiva, W. S. (2021). Immersive virtual reality in patients with moderate and severe traumatic brain injury: a feasibility study. *Health and Technology*. <https://doi.org/10.1007/s12553-021-00582-2>.
- (17) Lo Priore, C. Ph.D., Castelnuovo, G. M.S., Liccione, Diego. M.S. & Liccione, Davide M.S. (2003). Experience with V-STORE: Considerations on Presence in Virtual Environments for Effective Neuropsychological Rehabilitation of Executive Functions. *Cyberpsychology & Behavior*; 6(3):281-287.
- (18) Tombaugh, T. N., Kozak, J. & Rees, L. (1999). Normative data stratified by age and education for two measures of verbal fluency: FAS and animal naming. *Arch Clin Neuropsychol*; 14: 167–77.
- (19) De Carvalho, M. R., Da Costa, R. T. & Nardi, A. E. (2011). Simulator Sickness Questionnaire: translation and cross-cultural adaptation. *J Bras Psiquiatr*; 60:247–52.
- (20) Brucki SMD, Rocha MSG. (2004). Category fluency test: effects of age, gender and education on total scores, clustering and switching in Brazilian Portuguese-speaking subjects. *Brazilian J Med Biol Res*; 37:1771–7.
- (21) Steer, R. A. & Beck, A. T. (1997). Beck Anxiety Inventory.
- (22) Sedó, M., Paula, J. J. & Malloy-Diniz, L. F. (2015). Five Digit Test - Teste dos cinco dígitos.
- (23) Nascimento E. WAIS-III: Escala de Inteligência Wechsler para Adultos-manual técnico. *São Paulo Casa do Psicólogo*. 2005.
- (24) Beck, A. T., Steer, R. A., & Brown, G. K. (2006). BDI-II. Inventario de Depresión de Beck. *Journal of Personality Assessment*; 67:588-597.
- (25) Mioshi, E., Dawson, K., Mitchell, J., Arnold, R. & Hodges, J. R. (2006). The Addenbrooke's Cognitive Examination Revised (ACE-R): a brief cognitive test battery for dementia screening. *Int J Geriatr Psychiatry*; 21(11):1078-85.
- (26) Ryan, J. J. & Lopez, S. J. (2001). Wechsler adult intelligence scale-III. In: Dorfman WI, Hersen M, editors. *Understanding psychological assessment [internet]*. US: Springer; 19-42.
- (27) Wechsler, D. (1997). Wechsler Adult Intelligence Scale--Third Edition (WAIS-III) [Database record]. APA PsycTests.
- (28) Baddeley, A. D., Eysenck, M.W. & Anderson, M.C. (2018). Memoria. Madrid: Alianza Editorial.
- (29) Alderman, N., Burgess, P., Knight, C. & Henman, C. (2003). Ecological validity of a simplified version of the Multiple Errands Shopping Test. *J. Int. Neuropsychol. Soc.*; 9:31-44.
- (30) Baum, C., Morrison, M., Hahn, M. & Edwards, D. (2007). Executive Function Performance Test: Test Protocol Booklet. St. Louis, MO:Washington Univ.

- (31) Rand, D., Katz, N., Shahar, M., Kizony, R. & Weiss, P.L. (2005). The virtual Mall: A functional virtual environment for stroke rehabilitation. *Annu. Rev. Cyber Therapy Telemed.: A decade of VR*; 3:193-198.
- (32) Levav, M. (2005). Validity of the Multiple Errands Test-Simplified Version (MET-SV): A Functional Measure of Executive Functions Within Brain Injured Adults. Jerusalem, Israel: Hebrew Univ.
- (33) Kramer, J. H. et al. (2014). NIH EXAMINER: conceptualization and development of an executive function battery. *J. Int. Neuropsychol. Soc. JINS*; 20(1):11-19.
- (34) Rand, D., Ben-Haim, K. L., Malka, R. & Portnoy, S. (2017). Development of Internet-based Tasks for the Executive Function Performance Test. *Am J Occup Ther. Accepted for Publication*.
- (35) Norris, G. & Tate, R. L. (2000). The Behavioural Assessment of the Dysexecutive Syndrome (BADS): Ecological, Concurrent and Construct Validity. *Neuropsychol. Rehabil.*; 10(1):33-45.
- (36) Kizony, R., Raz, L., Weingarde, H. & Weiss, P. L. T. (2005). Video-capture virtual reality system for patients with paraplegic spinal cord injury. *J. Rehabil. Res. Dev.*; 42(5):595-608.
- (37) Kizony, R., Katz, N. & Weiss, P. L. (Tamar). (2003). Adapting an immersive virtual reality system for rehabilitation. *J. Vis. Comput. Animat.*;14(5):261-268.
- (38) Kizony, R., Weiss, P. L. T., Shahar, M. & Rand, D. (2006). TheraGame: A home based virtual reality rehabilitation system. *Int. J. Disabil. Hum. Dev.*; 5(3):265-270.
- (39) Bruna, O., Roig, T., Puyuelo, M., Junquè, C. & Ruano, A. (2011). Rehabilitación neuropsicológica. Intervención y práctica clínica. (p. 109-129) capítulo 7. Editorial Elsevier Masson, Barcelona, España.
- (40) Noreña, D., Sánchez-Cubillo, I., García-Molina, A., Tirapu-Ustárroz, J., Bombín-González, I. & Ríos-Lago, M. (2010). Efectividad de la rehabilitación neuropsicológica en el daño cerebral adquirido (II): funciones ejecutivas, modificación de conducta y psicoterapia, y uso de nuevas tecnologías. *Rev. Neurol.*; 51(12):733-744.
- (41) Middleton, D. K., Lambert, M. J. & Seggar, L. B. (1991). Neuropsychological rehabilitation: microcomputer-assisted treatment of brain-injured adults. *Percept. Mot. Skills*; 72:527-30.