
ESCENARIOS VIRTUALES PARA LA EVALUACIÓN NEUROPSICOLÓGICA: UNA REVISIÓN DE TEMA

Virtual Scenarios for Neuropsychological Assessment: A Topic Review

Cenários virtuais para a avaliação neuropsicológica: uma revisão temática

RECIBIDO: 08 julio 2021

ACEPTADO: 15 septiembre 2021

Andrés Camilo Delgado-Reyes^a

Jessica Valeria Sánchez Lopez^b

a. Neuroser IPS. Pereira, Risaralda, Colombia. Carrera 5 # 18-33 Centro de Especialistas del Risaralda. b. Universidad de Manizales. Manizales, Caldas, Colombia. Cra. 9a # 19-03.

Palabras Clave: evaluación neuropsicológica, atención, memoria, funciones ejecutivas, realidad virtual, neuropsicología, ABVD, revisión de tema.

Keywords: neuropsychological evaluation, attention, memory, executive functions, virtual reality, neuropsychological, ABVD, subject review.

Palavras-chave: avaliação neuropsicológica; atenção; memória; funções executivas; realidade virtual; neuropsicologia; ABVD; revisão temática.

RESUMEN

Los instrumentos de evaluación neuropsicológica actual carecen de validez ecológica. Las tecnologías, especialmente la realidad virtual (RV), han incursionado en el mundo de la evaluación cognitiva. La presente revisión de tema tiene como objetivo determinar el tipo de RV implementada para la evaluación neuropsicológica, También, evidenciar cuales son los procesos cognitivos evaluados por medio de esta tecnología y determinar cuáles son los escenarios de la vida cotidiana que más implementan al diseñar entornos virtuales para mejorar la validez ecológica de la evaluación. Se realizó una revisión bibliográfica internacional de los trabajos publicados en la base de datos Pudmed durante el periodo de tiempo de 2000 al primer semestre de 2021. Se incluyeron un total de 44 trabajos. El 52,3% trabajos implementa RV inmersiva, seguida por la RV no inmersiva con el 43,2% y por último RV semi-inmersiva, con 4,5%. La RV ha demostrado ser una herramienta prometedora para la evaluación de diferentes procesos cognitivos.

Correspondencia: Andrés camilo Delgado-Reyes Neuroser IPS. Pereira, Risaralda, Colombia. Carrera 5 # 18-33 Centro de especialistas del Risaralda. Correo: Acdelgado58718@umanizales.edu.co



Publicado bajo licencia Creative Commons Reconocimiento 3.0. (cc-by).

ABSTRACT

Current neuropsychological assessment instruments lack ecological validity; Technologies, especially virtual reality, in order to overcome this difficulty have entered the world of cognitive evaluation. The present review of the topic aims to determine the type of VR implemented for neuropsychological evaluation, to show which are the cognitive processes evaluated through this technology and to determine which are the scenarios of daily life that are most implemented when designing virtual environments to improve the ecological validity of the evaluation. An international bibliographic review was carried out of the works published in the Pudmed database during the period from 2000 to the first semester of 2021. A total of 44 works is included. 52.3% of jobs implement immersive virtual reality, followed by non-immersive virtual reality with 43.2% and finally semi-immersive virtual reality, with 4.5%. Virtual reality has proven to be a promising tool for the evaluation of different cognitive processes.

RESUMO

Os instrumentos de avaliação neuropsicológica atualmente carecem de validade ecológica. As tecnologias, especialmente a realidade virtual (RV) tem tido uma incursão no mundo da avaliação cognitiva. A presente revisão temática tem como objetivo determinar o tipo de RV implementada para a avaliação neuropsicológica. Também, evidenciar quais são os processos cognitivos avaliados por meio desta tecnologia e determinar quais são os cenários da vida cotidiana que mais implementam ao projetar entornos virtuais para melhorar a validade ecológica da avaliação. Foi realizada uma revisão bibliográfica internacional dos trabalhos publicados na base de dados Pudmed durante o período de tempo de 2000 ao primeiro semestre de 2021. Foram incluídos 44 trabalhos no total. 52,3% dos trabalhos implementa a RV imersiva, seguida pela RV não imersiva como 43,2% e por último a RV semi-imersiva, com 4,5%. A RV tem se demonstrado uma ferramenta promissora para a avaliação de diferentes processos cognitivos.

Introducción

La evaluación neuropsicológica (ENP) se vale de diferentes procedimientos psicométricos y de análisis clínico. Una de las principales herramientas son los test o pruebas neuropsicológicas, que son formas estandarizadas de evaluar y cuantificar la función cerebral. Autoras como Benedet (2002) las consideran una medida indirecta del funcionamiento normal o anormal del sistema nervioso central. Por esto se pueden establecer inferencias sobre los procesos encubiertos del cerebro (Reynolds et al., 2021).

Las pruebas neuropsicológicas están construidas a partir de una postura teórica que busca explicar y posteriormente cuantificar los diferentes procesos cognitivos con el objetivo de determinar su estado en relación con su edad, sexo, nivel educativo o estrato socioeconómico. Desde la postura de Hebben & Milberg (2011), un gran número de las técnicas de evaluación neuropsicológica empleadas actualmente se derivaban de la postura psicológica y filosófica del empirismo-funcionalismo. Esto trae consigo que los instrumentos se construyen sobre ideas en donde lo primordial es la predicción del desempeño, pasando a un segundo plano el contenido de la prueba y el significado psicológico. De manera contrapuesta las pruebas de tradición cognitiva se diseñan primordialmente para medir funciones específicas o componentes de dichas funciones, por lo general perceptuales e intelectuales, ocupando un papel menos importante la predicción clínica. A pesar de los grandes avances en otras técnicas como la neuroimagen, las pruebas neuropsicológicas siguen siendo el principal método para evaluar las relaciones cerebro conducta. Esto se debe según Reynolds et al. (2021) a que la neuroimagen solo permite obtener una mirada de la estructura cerebral subyacente y su fisiología, encontrando que en ocasiones los resultados de técnicas como la resonancia magnética pueden ser normales a pesar de mostrar fallas neuropsicológicas o viceversa. Las pruebas neuropsicológicas evalúan funciones "específicas" que pueden estar vinculadas a ciertos sistemas cerebrales, concibiéndose este método de evaluación como un paradigma para comprender el comportamiento. Esto obedece a que incluye la capacidad que presentan los evaluados para resolver problemas novedosos, aprender nuevas tareas, así como a ejecutar tareas motoras simples y complejas.

Un test neuropsicológico se puede definir como una prueba sensible al estado del cerebro (Benedet, 2002), lo que implica que sujetos con diversas alteraciones cerebrales presenten puntuaciones significativamente inferiores en comparación a un sujeto con el cerebro intacto. Sin embargo, hay que tener en cuenta que los resultados obtenidos por un sujeto en una prueba neuropsicológica corresponden a un conglomerado de funciones cognitivas indiferenciadas, ya que no existen pruebas 100% específicas, lo cual se debe a lo que se conoce como medidas impuras (Tirapu-Ustarroz et al., 2018). No existe

ningún test “puro”, es decir, en el que participe un solo proceso o componente del funcionamiento cognitivo. Siempre van a existir influencias de las habilidades perceptuales, motoras o conceptuales para ejecutar diferentes tipos de tareas (Ardila & Ostrosky, 2012). Ardila & Ostrosky (2019) ponen el ejemplo del test de denominación de Boston que requiere conocimiento léxicos (recuperación de vocabulario), además de habilidades visoperceptuales y de atención. Estas tres habilidades están asociadas con diferentes sistemas cerebrales.

Históricamente, los instrumentos empleados por los neuropsicólogos no han nacido con el propósito de evaluar la disfunción cerebral. En muchos casos reflejan la tradición de evaluación clínica más que de investigación básica en neurociencias. De igual manera, en muchos casos las pruebas se usan porque dan resultado o porque se creía que daban resultado con base en observaciones clínicas previas (Hebben & Milberg, 2011) que reflejaban que ciertas capacidades cognitivas presentaban deterioro en caso de patologías cerebrales focales, asumiendo de manera implícita que estas habilidades cognitivas podrían estar vinculadas a regiones específicas del cerebro (Ardila & Ostrosky 2019), asumiendo una visión localizacionista de la organización cerebral.

Independientemente de su origen, las pruebas neuropsicológicas deberían satisfacer los patrones usuales de confiabilidad, validez, estandarización y la generalización de las funciones en el mundo real. Con el objetivo de cumplir con estos estándares, se han implementado diferentes enfoques conceptuales: enfoque de prueba única, enfoque de baterías de pruebas estandarizadas, enfoque de baterías de pruebas personalizadas y escalas de tamizaje o pruebas de rastreo cognitivo.

Enfoque de prueba única

Son instrumentos diseñados para evaluar un proceso cognitivo en específico, como la atención auditiva (dígitos en progresión) o la flexibilidad cognitiva (test de clasificación de tarjetas). Este enfoque ha sido cuestionado por la ineficiencia para diseñar pruebas que sean sensibles a la diversidad y complejidad de alteraciones que puede presentar un paciente terminado (Pinel, 2010).

Enfoque de baterías de pruebas estandarizadas o batería fija (Pinel, 2010; Reynolds et al., 2021)

De forma general se pueden definir como un conjunto de pruebas o elementos establecidos de forma estandarizada que exploran diferentes funciones cognitivas de forma sistematizada, con el objetivo de reconocer las fortalezas y debilidades. Algunos profesionales recomiendan su uso para anclar y comparar hallazgos a través de diferentes poblaciones o criterios definidos (Hebben & Milberg, 2011; Tirapu, 2007). Autores como Pinel (2010) consideran que este enfoque ha demostrado ser eficaz al momento de discriminar entre sujetos sanos y neurológicos, aunque presenta fallas al discriminar entre pacientes neurológicos y psiquiátricos.

Enfoque de batería de pruebas personalizadas o batería flexible (Pinel, 2010; Reynolds et al., 2021)

Tuvo sus inicios en la investigación, pero probó ser muy adecuado y se extendió a la práctica clínica, ya que requiere un análisis más cuidadoso. Favorece la combinación dinámica de instrumentos, pues las pruebas usadas son dictadas por el motivo de consulta específico del paciente (Hebben & Milberg, 2011). Por lo general se necesita experiencia clínica y un amplio conocimiento teórico para seleccionar la batería de pruebas más adecuada para evidenciar las alteraciones de un paciente, así como para determinar las diferentes estrategias cualitativas usadas.

Pruebas de tamizaje o de rastreo cognitivo (Tirapu, 2007; Bausela, 2009)

Son instrumentos de fácil aplicación y que requiere poco tiempo para su uso (5-20 minutos), generalmente están conformados por un grupo de preguntas que buscan explorar determinadas funciones cognitivas (atención, memoria, habilidades visoperceptuales, etc.). Su calificación es sencilla y se obtiene un “punto de corte” que se interpreta de una forma dicotómica entre lo normal y patológico, exponiendo a aquellos sujetos que necesitan una evaluación neuropsicológica más amplia.

La premisa de cualquiera de estos enfoques es que la conducta tiene una base orgánica y el rendimiento se puede utilizar para evaluar el funcionamiento cerebral, (Reynolds et al., 2021). Todas las pruebas usadas por lo neuropsicólogos tienen en común (o deberían tener en común) aspectos claves como la validez, y confiabilidad (Hebben & Milberg, 2011), aunque en ocasiones la situación experimental de la evaluación neuropsicológica y de algunas pruebas es tan “ficticia” que los resultados alcanzados carecen de valor a la hora de predecir el nivel de funcionamiento real. Así es posible documentar

déficits superficiales que no provocan dificultades en las tareas básicas del diario vivir y viceversa (Tirapu, 2007). De igual manera, a pesar de ser excelentes detectores de disfunción cerebral, no se pueden emplear como herramientas para describir capacidades o como origen de recomendaciones para la vida real (Hebben & Milberg 2011).

Las pruebas deberían ser sensibles a la presencia de disfunción cerebral y teóricamente coherente, permitiéndoles ser descriptivas y validas ecológicamente; sin embargo, debido a sus orígenes históricos, en la práctica clínica muchos instrumentos quedan comprometidos o limitados a uno de los objetivos. La mayoría de los instrumentos de evaluación que son empleados en la actualidad por los neuropsicólogos fueron desarrollados sin tener en consideración la predicción de la conducta adaptativa observable (Hebben & Milberg, 2011), por ello, en la actualidad la tendencia de la evaluación neuropsicológica es desarrollar nuevos instrumentos y metodologías que examinen conductas y actividades similares a las características del medio natural en donde se desenvuelven los sujetos (Tirapu, 2007).

Tal como lo expresa Tirapu (2007), no se debe olvidar que una prueba neuropsicológica tiene como objetivo provocar una conducta que, se infiere, tiene su equivalente en la vida diaria. Por esto, la validez ecológica –entendida como la necesidad de usar medidas que exploren el grado en que las funciones cognitivas evaluadas están envueltas en situaciones de la vida real–, determina su capacidad de funcionar en ella. La necesidad de una mirada más ecológica en la evaluación neuropsicológica ha puesto un foco en la creación de prueba de evaluación menos artificiales y que puedan dar una idea de la capacidad del sujeto para cuidar de sí mismo de forma independiente, así como para llevar una vida social y ocupacionalmente activa, ya que en muchas ocasiones los resultados que se obtienen en las pruebas neuropsicológicas pueden generar falsas expectativas en el funcionamiento de la persona en la vida cotidiana.

En lo referente a la situación artificial en la evaluación neuropsicológica, Acker (1990) plantea una serie de diferencias en la situación simulada en el momento de la evaluación y la vida diaria. De estas, la primera tiende a ser estructura y directiva. Se centra en aspectos concretos en un ambiente amable, poco hostil, protegido y motivado por el evaluador. En la vida diaria, las personas se enfrentan a tareas espontaneas y poco estructuradas, en las cuales se planifica de forma individual, se da un proceso automotivado, se genera un entorno menos protegido y existe una competencia. Por esto Burges et al. (2006) sugieren desarrollar la nueva generación de instrumentos de evaluación para ser representativa, generalizable y predictiva de las actividades cotidianas, estando más guiadas por la función y no únicamente por el constructo, aspecto que ha sido criticado en pruebas como la de clasificación de tarjetas de Wisconsin (WSCT), ya que son virtualmente inexistentes los datos para permitirle a un clínico saber realmente qué situaciones de la vida cotidiana requieren las capacidades que la WSCT mide. En la nueva ola de instrumentos de evaluación neuropsicológica, las tecnologías juegan un papel importante. Esto ocurre especialmente con la realidad virtual (RV), que ha demostrado ciertas ventajas a la hora de crear entornos fotorrealistas que simulan diferentes ambientes y actividades de la vida cotidiana. La RV se puede definir según Xi & Hamari (2021) como un medio por su interactividad, tridimensionalidad y respuesta a la acción en tiempo real. La generación de estas plataformas avanza en su complejidad dependiente de los progresos realizados hasta hora y de las novedades futuras en términos de software y hardware, que permite la programación y la visualización de los entornos.

Al hablar de RV se deben considerar dos conceptos importantes: (1) inmersión se describe como la sensación referida por las personas de percibirse dentro del entorno virtual como una experiencia “realista”. (2) Interacción, es el papel activo que juega el sujeto en el ambiente virtual, llegando a modificarlo por medio de sus interacciones, siendo un proceso más interactivo que la mera proyección grafica de imágenes (Peñasco-Martín et al., 2010). Es importante mencionar que esto depende de la cantidad de sistemas sensoriales que se vean envueltos, en donde a mayor número de sentidos estimulados, mayor será la sensación de inmersión.

Los dos aspectos anteriores según Cano (2018) son determinados por el tipo de plataforma que se esté implementando, a partir de la cual se pueden diferenciar algunos tipos de realidad virtual, entre las que se encuentran: (1) realidad virtual inmersiva o en primera persona (RV-I), en la que la persona obtiene el grado más alto de inmersión y de interacción, por lo que se requieren dispositivos como el oculus rift y el leap motion. Generalmente se conoce como pantalla montada en la cabeza (HMD). La RV no requiere el uso de HMD y se puede usar otra tecnología de visualización que pueda crear una experiencia inmersiva suficiente, es decir, que logre abarcar el campo de visión del usuario (Xi y Hamari, 2021). (2) Realidad virtual semi inmersiva (RV-SI), la cual es implementada en las en las “computer automatic virtual environment” (CAVE) o mesas estereoscópicas, donde el entorno virtual es generado por un sistema de triple proyección. (3) Realidad virtual semi-inmersiva de segunda persona (RV-SIS) en donde se utilizan algunos dispositivos comerciales más populares, como el Play Station® o el Nintendo®, ya que permite la visualización del usuario en un mundo virtual por medio de un avatar, el cual puede dirigir por medio de un mando sin perder el contacto con el mundo real. (4) Por último, se encuentra la realidad virtual

no inmersiva (RV-NI), también denominada de ventanas, donde el usuario visualiza el mundo virtual a través de un monitor y lo manipula por medio de un joystick 3D.

Desde la RV se han presentado algunas propuestas para la evaluación e intervención del trastorno del espectro autista y el trastorno por déficit de atención (Delgado-Reyes et al., 2020; Delgado-Reyes & Sánchez, 2021). De igual manera, ha abordado otras patologías como los trastornos alimentarios, las fobias específicas, las adicciones y el dolor crónico (Mesa-Gresa et al., 2018; Mishkind et al., 2017; Ponce-Barbosa et al., 2021) con resultados prometedores debido al aumento de la validez ecológica en los procesos de intervención y evaluación.

Con base en lo anterior, se han creado diversas plataformas para la evaluación de procesos cognitivos como la memoria, la atención, las funciones ejecutivas y las habilidades para la vida diaria, las cuales han evidenciado relaciones fluctuantes con las pruebas de lápiz y papel estandarizadas y la ejecución de diferentes actividades que se realizan en la cotidianidad. Así, la presente revisión de tema tuvo como objetivo determinar el tipo de RV implementada para la evaluación neuropsicológica según la clasificación de Cano (2018), evidenciando cuáles son los procesos cognitivos evaluados por medio de esta tecnología y determinar cuáles son los escenarios de la vida cotidiana que más se implementan al diseñar entornos virtuales para mejorar la validez ecológica de la evaluación.

Metodología

Se realizó una revisión bibliográfica internacional de los trabajos publicados en la base de datos Pudmed, que es de acceso libre y especializada en ciencias de la salud, durante el periodo de tiempo de 2000 al primer semestre de 2021. Para la selección de los artículos se tuvieron en cuenta los siguientes criterios: (1) trabajos que trataran sobre las plataformas para la evaluación neuropsicológica publicadas por primera vez durante el periodo de tiempo 2000-2021, (2) todos los trabajos incluidos son ensayos clínicos, ensayos controlados o estudios de estandarización que no solamente realizaran la descripción del concepto o diseño de la plataforma, (3) los artículos debían realizar una descripción detallada de los ambientes de RV, (4) debido a que esta investigación busca determinar el tipo de realidad virtual implementada, los artículos incluidos tenían que dar cuenta de manera precisa las herramientas tecnológicas implementadas, (5) se excluyeron reflexiones, revisiones sistemáticas, metanálisis u otros documentos de teóricos.

Tomando como punto de partida los criterios de inclusión y de exclusión, se combinaron operadores booleanos para formar oraciones de búsqueda (AND NOT, AND, OR,) con palabras claves como “virtual reality” “neuropsychology” “evaluation” “attention” “executive functions”, “memory” y “daily life skills”. Esta búsqueda se realizó tanto en español como en inglés. Se examinaron diferentes combinaciones para desechar artículos “no deseados” como fuese posible, pero asegurándose de que los artículos importantes para el tema previamente conocidos no se excluyeran de la búsqueda. Por lo anterior, la búsqueda fue intencionalmente más inclusiva que exclusiva (Restrepo et al., 2019).

El proceso de verificación y selección procedió de la siguiente manera (Tabla 1). La búsqueda inicial arrojó un total de 1.789 trabajos a partir de la combinación de palabras claves y operadores booleanos. Se realizó lectura de título y resúmenes, identificando 100 duplicados. Se eliminaron posteriormente aquellos que salían del umbral de búsqueda estipulado (2000-2021), descartando 513 trabajos. Se leyeron los resúmenes de los trabajos de manera superficial para determinar si presentaban coincidencia temática con RV y algún proceso cognitivo determinado (atención, memoria, funciones ejecutivas, entre otros), por lo que se excluyeron 657 documentos, ya que abordaban temas variados como la utilidad de la RV en patologías específicas como la esclerosis múltiple, el Parkinson o en tareas como la rehabilitación motora o cognitiva, aspectos poco relevantes para la presente revisión. 347 documentos hacían referencias a reflexiones teóricas y conceptuales de la utilidad de la RV. Con 172 documentos se procedió a realizar una lectura detenida y un análisis de los mismos por medio de una maya Excel®, en donde se discrimina nombre de la plataforma, tipo de RV, proceso cognitivo evaluado y población de validación. De estos se excluyeron 100 por ser descripciones teóricas de conceptos para el diseño de plataformas de RV o planes de investigación. De igual manera, 28 hallazgos no fueron incluidos por no lograr rastrear el documento completo que permitiera un análisis detallado.

Tabla 1

Paso a paso del proceso de selección y búsqueda

Paso	Descripción	Cambio	Total
Paso 1	Combinación de palabras claves y operadores booleanos	1789	1789
Paso 2	Trabajos repetidos	-100	1689
Paso 3	Año de publicación	-513	1176
Paso 4	Exclusión temática	-657	519
Paso 5	Otros documentos	-347	172
Paso 6	Lectura y análisis de artículos	-128	44
Paso 7	Seleccionados		44

Nota. Fuente los autores

Tabla 2

Trabajos incluidos en la presente revisión, discriminados por el autor, el proceso cognitivo evaluado, el nombre de la plataforma como se nombra en el artículo original, el tipo de RV implementada, la población de validación y finalmente los escenarios virtuales diseñados.

Autores	Proceso cognitivo evaluado	Nombre de la plataforma	Tipo de realidad virtual	Población de validación	Escenario virtual
Kourtesis et al. (2021).	Memoria prospectiva, memoria episódica, funcionamiento ejecutivo, atención selectiva (visual y auditiva).	Virtual Reality Everyday Assessment Lab (VR-EAL).	RV-I.	41 sujetos sanos.	En casa: Dormitorio. Cocina. Sala de estar. Jardín. En la Ciudad: Carretera. Supermercado. Panadería y biblioteca. De camino a casa. Back Home.
Pieri et al. (2021).	Memoria.	ObReco-360º.	RV-I.	24 sujetos sanos.	Oficina.

Chicchi et al. (2021).	Funciones ejecutivas.	The Virtual Cooking Task (VCT).	RV-I.	23 sujetos sanos. 18 trastorno de consumo de alcohol.	Cocina.
Barnett et al. (2021).	Memoria.	Virtual Kitchen Protocol (VKP).	RV-I.	93 sujetos sanos. 7 deterioro cognitivo leve.	Cocina.
Horan et al. (2020).	Atención, toma de decisiones y velocidad de procesamiento.	The CONVIRT.	RV-I.	165 sujetos Sanos.	Carrera de Caballos.
Cabinio et al. (2020).	Memoria, funciones ejecutivas, habilidades visoespaciales.	The Smart Aging Serious Game (SASG).	RV-NI.	107 sujetos sanos 32 deterioro cognitivo leve.	Casa.
Corriveau et al. (2020).	Memoria Episódica.	Virtual Shop.	RV-I.	77 sujetos sanos.	Tienda.
Chua et al. (2019).	Memoria, función perceptiva y motora, función ejecutiva.	The RE@CH.	RV-NI.	37 sujetos sanos. 23 deterioro cognitive.	Tienda. Cajero automático. Closet. Cajero.
Fang et al. (2019).	Atención inhibición.	The VRMC.	RV-I.	63 sujetos sanos. 77 TDAH	Reconocimiento de objetos. Stroop. Seguimiento de posición.
Foerster et al. (2019).	Atención selectiva.	CombiTVA.	RV-I.	38 sujetos sanos.	Procedimiento experimental.
Eom et al. (2019).	Atención.	Virtual Reality Continuous Performance Test (VR-CPT).	RV-I.	18 sujetos sanos. 20 TDAH	Docente.
Ouellet et al. (2018).	Memoria cotidiana.	The virtual Shop.	RV-I.	49 sujetos sanos.	Tienda.

Robitaille et al. (2016).	Funciones ejecutivas.	Virtual Reality Avatar Interaction (Vrai)		RV-I.	6 controles.	Base military.
Valladares-Rodríguez et al. (2017).	Memoria.	Episodix.		RV-NI.	6 TCE militares. 8 sujetos sanos. 5 Alzheimer. 3 deterioro cognitivo.	Paseo virtual por una ciudad de tamaño medio.
Serino et al. (2017).	Funciones ejecutivas.	Picture Interpretation Test (PIT) 360°.		RV-I.	19 Parkinson. 19 sujetos sanos.	Sala de reuniones.
Nir-Hadad et al. (2017).	Funciones ejecutivas.	Virtual Supermarket Environment: SeeMe Virtual Interactive Shopper (VIS)		RV-NI.	19 Accidente cerebrovascular.	Centro comercial con tres tiendas: supermercado, ferretería, juguetería.
Teel et al. (2016).	Memoria, atención, navegación especial.	No nombran la propuesta.		RV-I.	128 sujetos sanos. 24 conmoción cerebral.	Corredor virtual. Ascensor virtual. Sala virtual.
Nolin et al. (2016).	Atención, inhibición.	I. <i>ClinicaVR: Classroom-CPT.</i>		RV-I.	102 sujetos sanos.	Salón de clase.
Allain et al. (2014).	Actividades instrumentales de la vida diaria.	No Virtual Coffee Task (NI-VCT).	Immersive	RV-NI.	24 enfermedad de Alzheimer. 32 controles. 19 controles. 19 con lesión cerebral traumática.	Cocina.
Greenwood et al., (2016).	Capacidad funcional.	Virtual Reality Supermarket Shopping Test		RV-NI.	102 niños.	Supermercado.
Manera et al. (2015).	Funciones ejecutivas.	'Kitchen and Cooking'.		RV-NI.	9 deterioro cognitivo leve. 12 Alzheimer. 14 ambulatorios. 7 hogares de ancianos. 11 apáticos. 10 no apáticos.	Cocina.

Lamargue-Hamel et al. (2015).	Tiempo de reacción, atención selectiva, inhibición, atención dividida.	Urban DailyCog®.		RV-NI.	30 esclerosis múltiple.	Ciudad.
Nori et al. (2015).	Memoria visoespacial.	The Virtual Reality Walking Corsi Test (M-WalCT).		RV-I.	80 sujetos sanos.	Cuarto experimental.
Rosas et al. (2013).	Aprendizaje y reconocimiento espaciales.	The "Boxes Room".		RV-NI.	8 sujetos sanos. 8 epilepsia refractaria.	Salón con 16 cajas distribuidas en el suelo.
Josman et al. (2014).	Funciones ejecutivas.	Virtual Action Planning-Supermarket (VAP-S).		RV-NI.	24 ACV. 24 sanos.	Supermercado.
Canty et al. (2014).	Memoria prospectiva.	Virtual Reality Shopping Task (VRST)		RV-NI.	30 daño cerebral adquirido.	Centro comercial.
Jebara et al. (2014).	Memoria episódica.	II. Experimental Episodic Memory Assessment (VR-EM Test).	VR	RV-NI.	128 sujetos sanos.	Ciudad virtual.
Tarnanas et al. (2013).	Función ejecutiva, memoria prospectiva y razonamiento.	VR-DOT.		RV-SI.	75 sujetos sanos. 134 deterioro cognitivo.	Bloque de apartamentos.
Arvind et al. (2014).	Memoria.	The Virtual HOMES Test.		RV-NI.	16 controles jóvenes. 15 adultos mayores. 15 pacientes con TCE.	Apartamento.
Grewe et al. (2013).	Memoria visoespacial.	OctaVis.		RV-SI.	19 estudiantes universitarios. 5 pacientes con epilepsia.	Supermercado.
Okahashi et al. (2013).	Atención, memoria, funciones ejecutivas.	Virtual shopping Test (VST).		RV-NI.	10 pacientes con daño cerebral. 10 sujetos ancianos sanos. 10 sujetos jóvenes sanos.	Centro comercial.

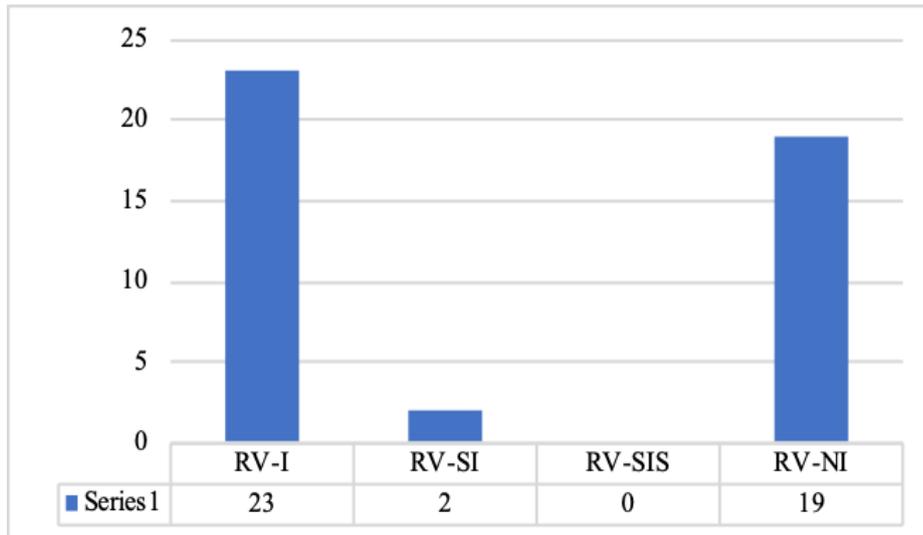
Parsons et al. (2013).	Atención e inhibición.	Virtual Reality. Stroop Task (VRST).	RV-I.	50 sujetos sanos.	Vehículo virtual.
Henry et al. (2012)	Inhibición.	VR-Stroop.	RV-I.	71 adultos saludables.	Apartamento.
Iriarte et al. (2012).	Atención.	AULA Nesplora.	RV-I	1.272 participantes.	Salón de clase.
Fong et al. (2010).	AIVD: uso del cajero.	VR Program Simulating an ATM (VR-ATM).	RV-NI.	24 LCA.	Cajero electrónico.
Renison et al. (2012).	Funciones ejecutivas.	The Virtual Library Task (VLT).	RV-NI.	30 30 controles.	TCE. Biblioteca.
Rand et al. (2009).	Funciones ejecutivas.	Virtual-The Multiple Errands Test (V-MET).	RV-NI.	9 ACV. 40 Sujetos sanos.	Supermercado.
Parsons & Rizzo (2008).	Capacidades funcionales.	Virtual Reality Functional Capacity Assessment Tool (VRFCAT).	RV-I.	30 sujetos sanos.	Ciudad.
Kurtz et al. (2007).	Actividades de la vida diaria (toma de medicamentos).	The Virtual Reality Apartment Medication Management Assessment (VRAMMA).	RV-NI.	25 Esquizofrenia. 18 Sujetos sanos.	Apartamento.
Matheis et al. (2007).	Memoria.	VR Office.	RV-I.	20 lesión cerebral traumática. 20 sujetos sanos.	Oficina.
Weniger & Irle (2006)	Memoria egocéntrica y alocentrica.	Virtual Reality Task.	RV-NI.	31 epilepsia del lóbulo temporal. 19 sujetos de control.	Laberinto.
Lee et al. (2003).	Actividades de la vida diaria.	Virtual Environment (VE).	RV-I.	5 hemiplejía.	Supermercado.
Rizzo et al. (2002).	Atención, memoria de trabajo	The Virtual Classroom and Office	RV-I.	8 10 Controles.	TDAH. Salón de clases.
Rizzo et al. (2000).	Atención	Virtual Classroom	RV-I.	15 15 Controles.	TDAH. Salón de clases.

Resultados

En la Tabla 2 se pueden observar los 44 trabajos incluidos en la presente revisión, discriminados por el autor, el proceso cognitivo evaluado, el nombre de la plataforma como se nombra en el artículo original, el tipo de RV implementada, la población de validación y finalmente los escenarios virtuales diseñados. Uno de los objetivos de la presente revisión fue determinar el tipo de RV implementada al momento de diseñar un escenario virtual para la evaluación neuropsicológica, como se puede observar en la Figura 1. 23 (52,3%) trabajos implementó RV-I, seguida por la RV-NI con 19 trabajos (43,2%) y por último RV-SI, con 2 trabajos (4,5%) ningún trabajo implemento RV-SIS.

Figura 1

Tipo de RV implementada por las plataformas.

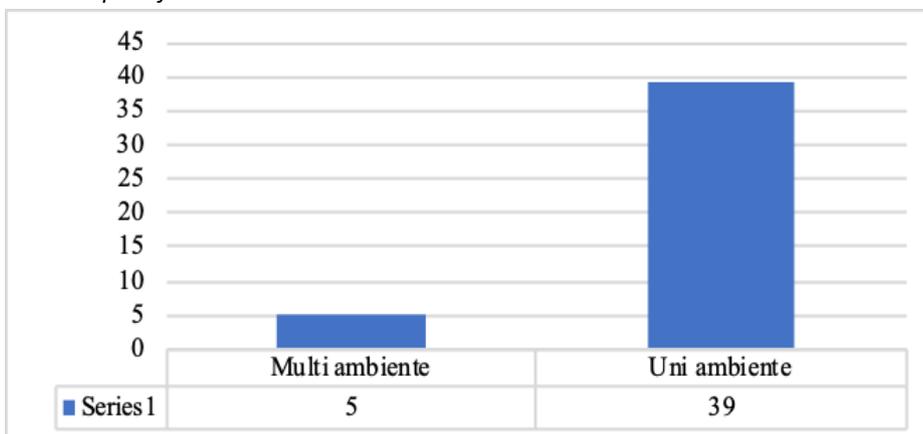


Nota. Fuente los autores. RV-I: Realidad virtual Inmersiva; RV-NI: Realidad virtual no inmersiva; RV-SI: Realidad virtual semi inmersiva; RV-SIS: Realidad virtual semi inmersiva de segunda persona.

En la Figura 2 se puede observar que 39 (88,6%) plataformas de RV para evaluación neuropsicológica incluyen un solo ambiente virtual, mientras que solo 5 (11,5%) diseñaron entornos virtuales que incluían múltiples ambientes para realizar el proceso de evaluación de los diferentes procesos cognitivos. Teniendo en cuenta que hay plataformas de RV uniambiente y multiambiente, se detectaron un total de 59 escenarios diferentes para evaluación neuropsicológica. Como se observa en la Figura 3, los ambientes más utilizados fueron: supermercados (11,9%), otros ambientes (11,9%) que hacían referencias a diseños experimentales que no tienen presencia en el mundo real, cocina (8,5%), ciudad (6,8%), salones de clase (6,8%), apartamentos (5,0%) y tiendas (5,0%).

Figura 2

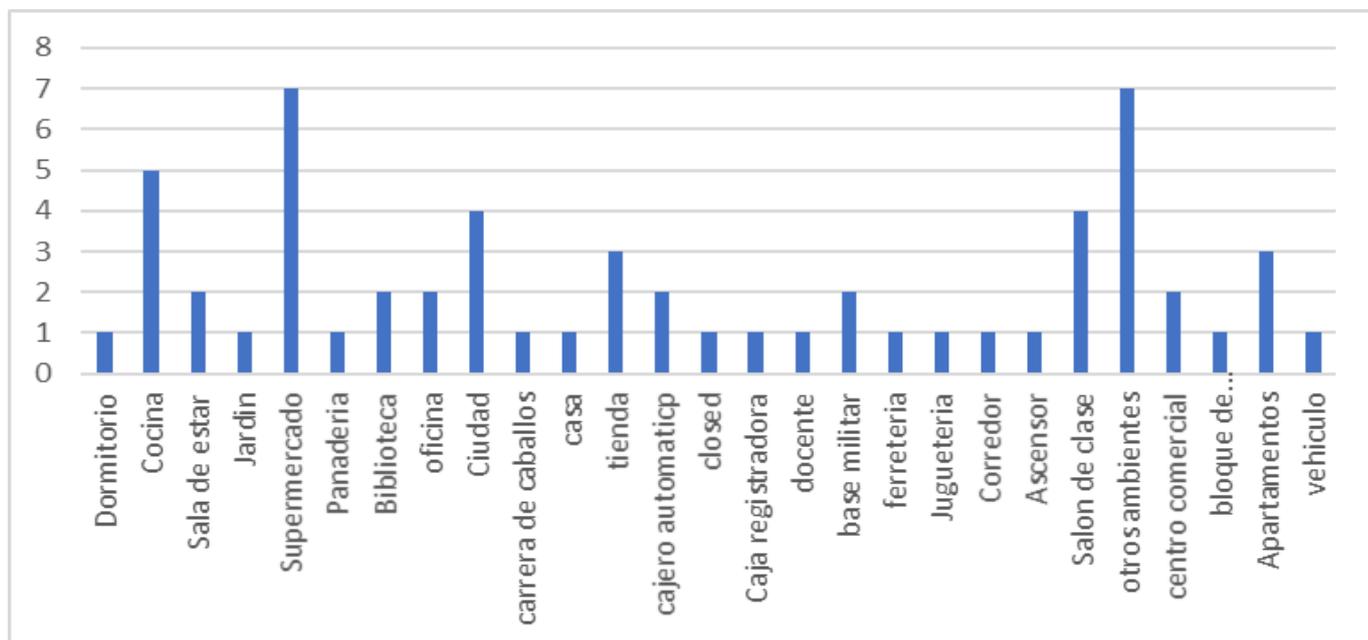
Número de ambientes en las plataformas de RV.



Nota. Fuente de los autores

Gráfico 3.

Escenarios implementados para le evaluación neuropsicológica

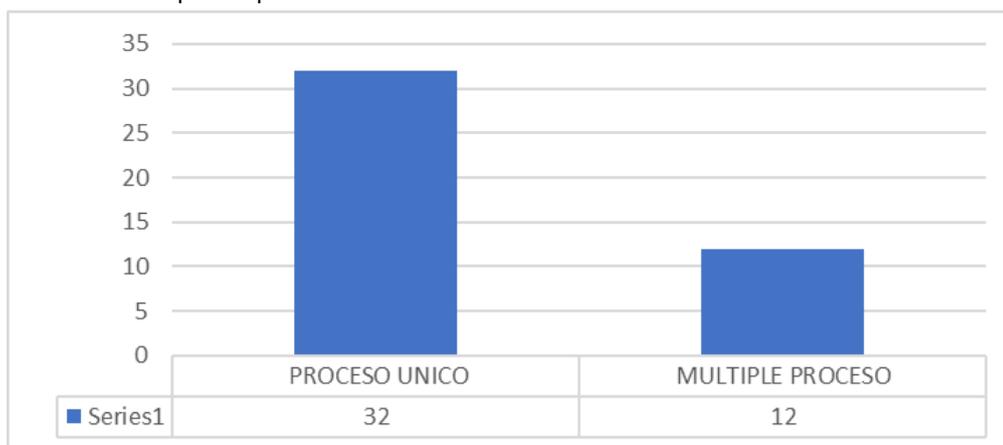


Nota: Fuente los autores.

La Figura 4 muestra que las plataformas de RV se pudieron ubicar en dos posturas frente al diseño de baterías de evaluación, 32 (72,3%) estaban dirigidas a evaluar un solo proceso cognitivo (enfoque de prueba única) y solo 12 (27,3%) buscaban evaluar varios procesos cognitivos a la vez (enfoque de batería estandarizada). Teniendo en cuenta que hay plataformas que buscan evaluar un proceso único o múltiples procesos, se pudo evidenciar que las diferentes propuestas buscan evaluar principalmente 14 funciones cognitivas específicas. Como se evidencia en la Figura 5, las funciones más evaluadas por medio de la RV fueron principalmente memoria (43,2%), funciones ejecutivas (32%), atención (27,2%), e inhibición (11,4%).

Grafica 4.

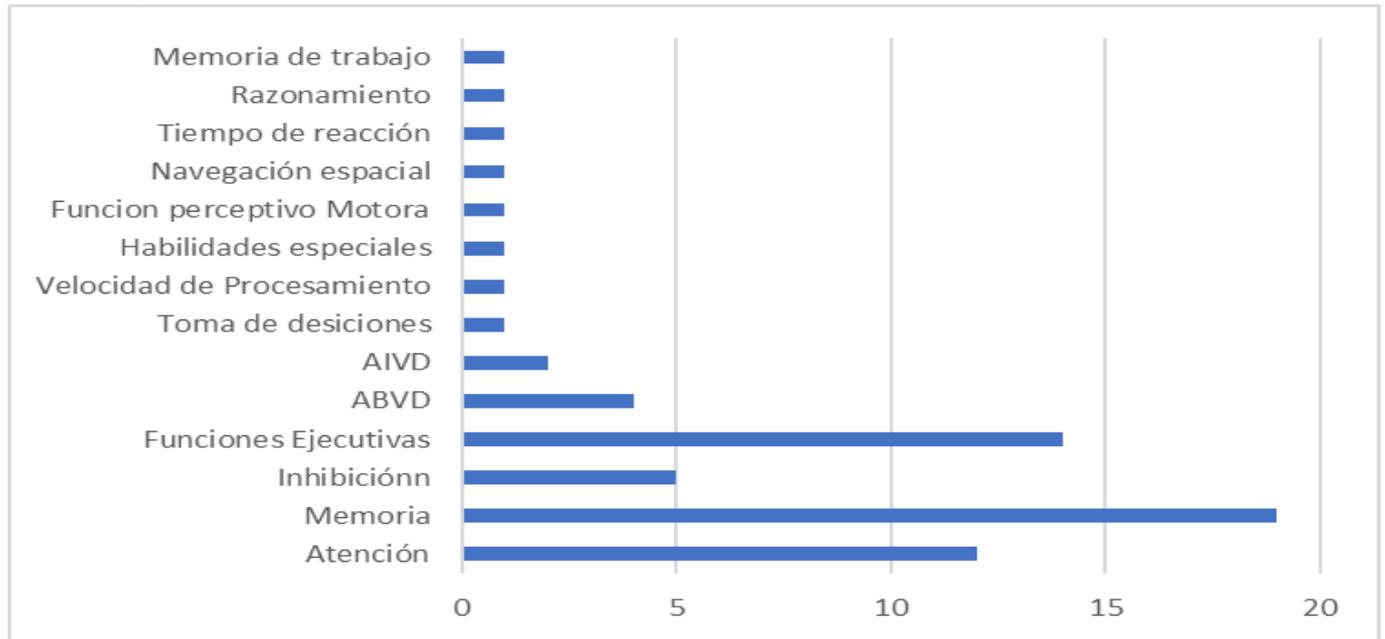
Numero de procesos evaluados por las plataformas de RV.



Nota: Fuente los autores.

Gráfico 5.

Procesos cognitivos evaluados por medio de RV.



Nota: Fuentes los autores

Discusión

La evaluación neuropsicológica tiene como objetivo determinar el estado de las funciones cognitivas de diferentes grupos poblacionales, por medio de diferentes instrumentos de evaluación. Una de las grandes críticas a los instrumentos tradicionales de evaluación es la denominada validez ecológica, que representa el grado de significación de esas funciones cognitivas en la vida cotidiana de un sujeto.

Ante la limitada validez ecológica de diferentes pruebas clásicas de lápiz y papel, las tecnologías han contribuido en los últimos años a mejorar este aspecto de la evaluación neuropsicológica. La RV es uno de los desarrollos tecnológicos que ha mostrado mayor capacidad para generar ambientes similares a los encontrados en la vida cotidiana. El objetivo del presente artículo de revisión fue determinar el tipo de RV implementada para la evaluación neuropsicológica según la clasificación de Cano (2018), evidenciando cuáles son los procesos cognitivos evaluados por medio de esta tecnología y determinar cuáles son los escenarios de la vida cotidiana que más implementan al diseñar entorno virtuales para mejorar la validez ecológica de la evaluación.

Inicialmente, frente al tipo de RV implementada se pudo observar en la presente revisión que el 52,3% de los trabajos implementan RV-I, seguida por la RV-NI con un 43,2% y por último RV-SI con un 4,5%. La preferencia de la RV-I radica principalmente por la capacidad de generar imágenes fotorrealistas que permiten primordialmente una sensación de inmersión dentro del entorno virtual, aumentando la validez ecológica de la evaluación debido a que los sujetos expresan sentirse dentro del entorno gracias al potencial de la RV para promover comportamientos realistas, lo cual se evidencia por reacciones emocionales apropiadas que se desencadenan y adaptan dentro del entorno virtual (Schöne et al., 2021). Esto lo han reflejado diferentes trabajos al analizar las respuestas fisiológicas emitidas por lo sujetos en entornos virtuales en donde se reflejan cambios en medidas de frecuencia cardiaca y conductancia de la piel (Ponce-Barbosa et al., 2021).

A nivel cognitivo, la pantalla montada en la cabeza (HMD) ofrece una oportunidad sin precedentes para la evaluación neuropsicológica (Foerster et al., 2019). Autores como Negut et al. (2016) señalan que el rendimiento cognitivo que se obtiene en la RV es más pobre en comparación a las pruebas de lápiz y papel y pruebas computarizadas, lo que podría sugerir que las tareas de RV tienen un mayor nivel de complejidad y dificultad, ya que requieren recursos cognitivos adicionales reflejando en muchas ocasiones déficits sutiles en el funcionamiento de la vida cotidiana que las pruebas tradicionales no pueden detectar y pierden la capacidad de predecir las necesidades reales de intervención (Borgnis et al., 2021). De igual manera, los usuarios refieren más agrado por diferentes pruebas virtuales que por los instrumentos tradicionales (Kourtesis et al., 2021), aunque las pruebas de RV puede complementar una batería tradicional de evaluación proporcionando información novedosa (Teel et al., 2016).

Del mismo modo, las diferentes plataformas de RV buscan una correlación con diferentes pruebas de lápiz y papel tradicionales que se consideran como el “patrón de oro”, para determinar que sí se este evaluando el constructo cognitivo deseado. Así, autores como Kourtesis et al. (2021) diseñaron el “VR-EAL”, una plataforma dirigida a la evaluación de la memoria, la atención y las funciones ejecutivas, evidenciando que los puntajes en la prueba virtual se correlacionan con sus equivalentes en pruebas de lápiz de papel. De igual manera, Chua et al. (2019), quienes diseñaron una propuesta denominada “The RE@CH”, que consta de cuatro ambientes virtuales, muestra una correlación positiva moderada con el MoCA, considerándose un método viable para el cribado y detección del deterioro cognitivo.

Así mismo, fuera de correlacionarse con pruebas neuropsicológicas clásicas, las plataformas de RV también presentan fuertes asociaciones con cuestionarios comportamentales como el Conners y el CBCL. Fang et al. (2019) reflejan que los resultados apoyaron la validez discriminante de la prueba de RV para evaluar TDAH en niños en edad escolar, aspecto que también se evidencia en el trabajo de Eom et al. (2019) al presentar correlaciones con las omisiones de Conners Continuos Performance Test (CPT-II) y las calificaciones comportamentales de los padres de niños con TDAH.

Otro mecanismo utilizado para determinar la validez ecológica y la capacidad de evaluar diferentes procesos cognitivos de la RV es comparando el rendimiento al interior de la plataforma con la ejecución de los sujetos en la vida real. El trabajo de Nir-Hadad et al. (2017) diseña el “Virtual Supermarket Environment: SeeMe Virtual Interactive Shopper (VIS)”, el cual consiste en un centro comercial con tres tiendas: supermercado, ferretería y juguetería. En este entorno, el participante debe navegar por los diferentes pasillos tocando los productos hasta complementar una lista de compra (4 productos). Esto se comparó con el rendimiento en una cafetería dentro del centro de atención. Aunque los resultados son alentadores, los autores consideran que se deben ampliar la muestra de trabajo para determinar la validez y su valor predictivo en la vida cotidiana. Con una metodología similar, Greenwood et al. (2016) compararon la RV vs la vida real en un supermercado evidenciando correlaciones de pequeñas a moderadas, encontrando medidas más bajas en la vida real debido a la mayor complejidad por tener mayores opciones de comida, más distracciones y más personas en comparación a la RV.

Aunque algunas propuestas pueden presentar mejores características que pruebas de cribado como el MoCA, Cabinio et al. (2020) diseñaron “The Smart Aging Serious Game (SASG)”, que tiene como objetivo evaluar el perfil cognitivo en población con deterioro cognitivo leve amnésico (DCLA). Mediante el SASG se reflejó mayor capacidad de detectar la degeneración neuronal del hipocampo derecho en comparación al MoCA, por lo que según los autores de la plataforma se podría considerar como un biomarcador digital que brinda datos objetivos y clínicamente significativos sobre el perfil cognitivo de los sujetos con DCLA. En concordancia con el trabajo anterior, Lamergue-Hamel et al. (2015) refieren que la RV es prometedora para identificar el deterioro cognitivo en población con esclerosis múltiple.

Diferentes pruebas virtuales crean entornos para la evaluación de las funciones cognitivas. Por el contrario, otras toman las pruebas clásicas y las adaptan dentro de un entorno virtual o se basan en el principio de la prueba para generar diferentes contextos experimentales. Así, se puede observar el trabajo de Parsons et al. (2013), quienes diseñaron el “Virtual Realete Stop Tas (VRST)”, el cual se compara con las versiones de lápiz y papel automatizadas por computadora del Stop, reflejando que el efecto stroop ocurre en el VRST. Una propuesta similar es la de Henry et al., (2012), denominada VR-Stroop y considerada como una medida interesante de inhibición cognitiva y motora para adultos. Esta prueba se correlaciona con tareas de lápiz y papel. De igual manera, refleja con la mayor precisión las funciones ejecutivas en el comportamiento diario (Lalonde et al., 2013).

The Virtual Reality Walking Corsi Test (M-WalCT) (Nori, 2015) se encuentra basada en el test de cubos de corsi (CBT). La prueba de RV, la cual es una versión a gran escala del CBT y consiste en repetir una secuencia de lugares siguiendo un camino (Piccardi et al., 2008), cuenta con datos normativos para niños italianos entre los 4 y 11 años de edad y población italiana de 15 a 86 años (Piccardi et al., 2014; Piccardi et al., 2012). A partir de la propuesta anterior, Nori et al. (2015) desarrollaron una interfaz virtual a partir de los principios de la prueba, encontrando correlación en el rendimiento de ambas pruebas en una muestra conformada por 80 estudiantes universitarios, donde los autores opinaron que la realidad virtual puede conducir a una representación espacial precisa del medio ambiente, permitiendo la evaluación de pacientes en situaciones dinámicas cercanas a la realidad. Esto es una ventaja respecto al enfoque tradicional de lápiz y papel, tal como lo refieren Cogné et al. (2016). Según los autores, el uso de la RV proporciona una mejor comprensión de los mecanismos subyacentes en juego, en la navegación y en la memoria espacial, ofreciendo la posibilidad de evaluar estrategias de solución encaminadas a optimizar el rendimiento en las actividades de navegación y así incentivar una mayor participación en la vida cotidiana de las personas afectadas.

“ObReco-360º” (Pieri et al., 2021) se basa en la prueba de memoria conductual de Rivermead III (RBMT), tarea en la que un clínico virtual presenta objetos por 5 segundos y el sujeto debe nombrar el objeto mostrado. Los resultados evidencian mejores puntuaciones en el recuerdo libre después de la presentación 360º. De igual manera, Valladares-Rodríguez et al. (2017) crearon “Episodix”, basado en California Verbal Learning Test (CVLT), en el que se observa que la plataforma virtual es menos intrusiva que la prueba tradicional, más ecológica, atractiva y de fácil aplicación.

Frente a los procesos cognitivos más evaluados por medio de la RV, se puede observar en la presente revisión que principalmente se crean plataformas para determinar el estado de la memoria. Generalmente se desarrollan entornos cotidianos como oficinas (Pieri et al., 2021; Matheis et al., 2007), cocinas (Barnett et al., 2021), casas (Cabinio et al., 2020), tiendas (Corriveau et al., 2020; Chua et al., 2019; Ouellet et al., 2018), ciudades (Valladares-Rodríguez et al., 2017; Jebara et al., 2014) centros comerciales (Canty et al., 2014; Okahashi et al., 2013), apartamentos (Arvind Pala et al., 2014), supermercados (Grewe et al., 2013) y laberintos (Weniger & Irle, 2006). Según Schöne et al., (2021), los estudios de RV centran su foco de atención en objetos, lo que significa que se pide a los sujetos que recuerden determinados ítems que encontraron en el entorno de RV, observando una tasa de memoria mejorada en entornos realistas.

Estas propuestas de evaluación han sido validadas con población Sana, con deterioro cognitivo leve, enfermedad de Alzheimer, conmoción cerebral, daño cerebral adquirido, trauma craneoencefálico y epilepsia. Un aspecto interesante es que, en el diseño de estas según Manera et al. (2015), se ha tomado en consideración que la comida es el tema más interesante para las personas mayores que viven en los hogares de cuidado, por lo que las propuestas que incluyen esta temática son más aceptadas y percibidas como interesantes para pacientes con deterioro cognitivo y enfermedad de Alzheimer.

Varias de las propuestas diseñadas consisten por lo general en un espacio abierto en donde la persona debe realizar un reconocimiento de su entorno o debe buscar una serie de ítems específicos que se le han solicitado previamente, contando con algunos apoyos como listas de compras o diferentes ayudas semánticas como apoyo de la memoria (Jebara et al., 2014). Plataformas como la de Canty et al. (2014), denominada “Virtual Reality Shopping Task (VRST)” y que consiste en un centro comercial en el cual el sujeto debe comprar 12 artículos en un orden preestablecido de 20 tiendas diferentes, evidencia validez convergente y ecológica, siendo una medida sensible de disfunción de la memoria prospectiva después de lesión cerebral traumática. Una propuesta similar a la anterior es la de Corriveau et al. (2020), denominada “Virtual Shop”, que muestra propiedades de validez adecuadas para reflejar la memoria episódica en un contexto virtual.

“VR-CPAT” mide una capacidad consistente con las medidas tradicionales de lápiz y papel que involucran aprendizaje y memoria (Parsons & Rizzo, 2008). “The homes” es un apartamento virtual para investigar patrones de memoria similares a los de la vida cotidiana en adultos mayores sanos y pacientes con TCE (Arvind Pala et al., 2014), logrando distinguir con precisión al grupo de lesión cerebral de los controles (Matheis, 2007; Okahashi et al., 2013). Una de las propuestas más interesantes para la evaluación de la memoria es la de Barnett et al. (2021), quienes crearon un protocolo a partir de una cocina virtual que se encuentra disponible comercialmente para plataformas como PlayStation y Oculus Rift denominada “Job Simulator”. El trabajo de los autores presenta el protocolo con las variaciones que se deben realizar y los puntajes a observar durante la ejecución.

El segundo proceso cognitivo más evaluado por medio de la RV según los resultados de la presente revisión son las funciones ejecutivas. Frente a estos procesos cognitivos las plataformas diseñan propuestas para este componente cognitivo partiendo de un modelo teórico particular o según las inferencias teóricas de los autores. Para la evaluación se han diseñado entornos como cocinas (Chicchi et al., 2021; Manera et al., 2015), casas (Cabinio et al., 2020), cajeros automáticos (Chua et al., 2019), bases militares (Robitaille et al., 2016), sala de reuniones (Serino et al., 2017), centros comerciales (Nir-Hadad et al., 2017), supermercados (Josman et al., 2014; Rand et al., 2009), bloques de apartamentos (Tarnanas et al., 2013) y bibliotecas (Renison et al., 2012). Estas han sido validadas con población de sujetos sanos, con accidente cerebrovascular, trauma de cráneo, deterioro cognitivo, enfermedad de Alzheimer, Parkinson y población con trastorno de consumo de alcohol.

Una de las plataformas más llamativas que contribuye al objetivo de realizar una evaluación neuropsicología de las funciones ejecutivas es la propuesta por Tarnanas et al. (2013), quien desarrolló la aplicación de realidad virtual denominada “VR-DOT”, que consiste en una tarea de evacuación de incendios. Dicha tarea fue creada con el objetivo de mejorar la validez ecológica en la evaluación de las funciones ejecutivas en la vida diaria, por lo que buscaron la correlación de este prototipo con pruebas neuropsicológicas de lápiz y papel. De igual manera, también buscaron la estimación de la funcionalidad física, por lo que se incluyeron 3 grupos (control de sujetos sanos con edad avanzada, 72 participantes; deterioro cognitivo

amnésico -DCLA-, 65 participantes; y enfermedad Alzheimer -EA-, 68 participantes). Los resultados mostraron que el grupo de paciente de EA evidenció peor rendimiento que el DCLA y ambos presentaron peores puntuaciones que los controles, por lo que VR-DOT demostró una fuerte correlación con las mediciones cognitivas y funcionales tradicionales, tales como el MMSE y la Escala de Actividades Cotidianas de la Vida Diaria, encontrando que la plataforma virtual tiene mayor sensibilidad y especificidad para discriminar entre deterioro cognitivo amnésico, enfermedad de Alzheimer leve y envejecimiento normal, lo cual permite hacer una aproximación útil en el campo clínico para diferenciar entre una condición u otra.

La correlación encontrada en el trabajo anterior con el MMSE también fue evidenciada por Okahashi et al. (2013) y Sakai et al. (2017) quienes toman una muestra de nacionalidad japonesa conformada por 285 participantes sanos entre los 20 y los 86 años, estos autores desarrollaron una prueba de realidad virtual denominada "Virtual shopping test (VST)" que permite la evaluación cognitiva en un entorno cotidiano como un centro comercial, los resultados demuestran que esta prueba puede ser una herramienta útil para evaluar el deterioro cognitivo general.

El tercer proceso cognitivo más evaluado por medio de RV es la atención. Si bien existen varias alternativas de plataformas dirigidas a evaluar solo este proceso cognitivo o en compañía de otros, como la inhibición, tal como lo han hecho Rizzo (2002); Nolin et al. (2016) y Horan et al. (2020), la plataforma que mayor goza de reconocimiento y que actualmente se encuentra disponible de manera comercial es la de Iriarte et al. (2012) denominada "AULA Nesplora". Esta es una de las propuestas que gozan de mayor evidencia científica actualmente, encontrándose estandarizada para sujetos de habla española. Es la interfaz virtual más utilizada actualmente como método para evaluar la atención, empleándose como una herramienta para apoyar el diagnóstico del TDAH.

El juego consiste en un test de ejecución continua inmerso en un salón virtual, el cual proporciona medidas de atención visual, auditiva y actividad motora, evidenciando validez convergente con el Test Performance Connors (CPT-II) y correlación con los índices de memoria de trabajo y velocidad de procesamiento de la Escala de Inteligencia WISC-IV, por lo que cuenta con una buena correlación clínica, fiabilidad en el diagnóstico de TDAH y alto valor predictivo, obteniéndose una clasificación acertada en un 93,5% de los casos y siendo importante mencionar que los resultados del test se ven afectados por la capacidad intelectual del individuo, por lo que solamente se considera como coadyuvante para el establecimiento del diagnóstico (Álvarez & Rufo-Campos, 2016; Díaz-Orueta et al., 2014; Fernández et al., 2012; Rufo et al., 2012).

De igual manera, el Aula Nesplora según Martínez (2017), aunque no se puede percibir como único elemento evaluador para la determinación diagnóstica, reconoce que la plataforma es un mecanismo interesante para el uso clínico debido a la validez ecológica que puede aportar al proceso de evaluación, logrando capturar información sobre los diferentes procesos motores y atencionales de los sujetos expuestos. Es considerada una herramienta válida para la medición de procesos atencionales (Díaz-Orueta et al., 2014), ya que se ha logrado evidenciar que los niños con TDAH obtienen en esta plataforma puntajes más bajos en memoria de trabajo, velocidad de procesamiento y un rendimiento general más disminuido que el grupo control (Arecas et al., 2018), logrando gracias a sus indicadores (comisiones, omisiones, actividad motriz y tiempos de respuesta) discriminar de manera adecuada entre las diferentes presentaciones del TDAH (inatento, hiperactivo/impulsivo y combinado). Esto evidencia ciertas ventajas del uso de la RV en la evaluación neuropsicológica de la atención (Arecas et al., 2016; Rodríguez et al., 2018), como la posibilidad de controlar el efecto del tratamiento farmacológico, permitiendo la discriminación de los niños que se encuentran bajo prescripción médica de estimulantes y los que no (Díaz et al., 2016; Álvarez & Rufo, 2016).

Aunque el Aula Nesplora es la plataforma que más evidencia científica tiene, se han creado otras propuestas de RV para la evaluación de la atención, como la propuesta de Bioulac et al. (2012), que de igual manera simula un aula de clase e incorpora un test de ejecución continua. Este autor ha evidenciado que los niños que cuentan con el diagnóstico establecido obtienen peor rendimiento en comparación con los niños control, resultados que fueron confirmados posteriormente por Negut et al. (2016), quienes además ofrecen evidencia de la utilidad de la RV en el diagnóstico de problemas de atención, brindando mayor validez a la evaluación, reconfirmando que este tipo de herramientas discrimina entre niños diagnosticados y niños que no lo están, y confirmando que la RV es una herramienta idónea para la evaluación de la atención. Esto es debido a que permite agregar diferentes tipos de distractores que facilitan la discriminación entre los diferentes grupos, pues los niños con TDAH presentan una vulnerabilidad a distraerse o perder su foco atencional para responder a estímulos circundantes que son irrelevantes para la tarea que esta ejecutando en ese momento (Adams et al., 2009).

Otros aspectos importantes para tener en cuenta al momento de utilizar RV son los efectos secundarios de la exposición conocida como el malestar del simulador o enfermedad cibernética, donde trabajos como los de Corriveau et al. (2020)

refieren bajos síntomas, aunque Nolin et al. (2016) comentan que lo más común es la fatiga visual, la fatiga general y náuseas, con menor frecuencia.

Sin duda, la RV en los próximos años ganará un espacio cada vez un espacio más amplio en las investigaciones sobre evaluación neuropsicológica. Sin embargo, hay que reconocer que los costos para obtener una plataforma de evaluación digital son más altos que los de una prueba tradicional, aunque en los últimos años el avance de la tecnología ha permitido obtener dispositivos físicos más económicos y diferentes aplicaciones y programas gratuitos que son fáciles de usar. El uso de la RV invita a hacer más énfasis en el enfoque “basado en la función” que difiere del modelo de “constructos” cognitivos abstractos imperantes en la neuropsicología actual, perdiendo de vista la capacidad para predecir la complejidad de las conductas “funcionales” que se encuentran presentes en la vida cotidiana (Serino et al., 2017).

Futuros trabajos deben tener en consideración utilizar muestras más amplias, comparar grupos normativos con poblaciones clínicas y diseñar ambientes lo más parecidos posibles a las situaciones cotidianas en donde se desenvuelve el sujeto. La presente revisión pudo reflejar que al hacer uso de la RV se diseñan ambientes realistas, dirigidos a la evaluación principalmente de la memoria, las funciones ejecutivas y la atención.

Este estudio tuvo como objetivo mostrar una visión actualizada de las diferentes plataformas propuestas para la evaluación neuropsicológica de la realidad virtual. De igual manera, el análisis propuesto permite evidenciar cuáles son los procesos cognitivos cuantificados por medio de este tipo de tecnología. Así mismo, propone una visión del tipo de RV implementada, lo que puede ser considerado para futuros estudios que busquen o tenga como objetivo utilizar esta estrategia.

ORCID Autores

Andrés camilo Delgado-Reyes <https://orcid.org/0000-0003-1781-808X>

Jessica Valeria Sánchez Lopez <https://orcid.org/0000-0002-5699-1304>

REFERENCIAS

- Acker, M. B. (1990). A Review of the Ecological Validity of Neuropsychological Tests. In D. E. Tupper & K. D. Cicerone (Eds.). *The Neuropsychology of Everyday Life: Assessment and Basic Competencies. Foundations of Neuropsychology*. Boston: Springer. https://doi.org/10.1007/978-1-4613-1503-2_2
- Adams, R., Finn, P., Moes, E., Flannery, K., & Rizzo, A. (2009). Distractibility in attention/deficit/hyperactivity disorder (ADHD): The virtual reality classroom. *Child Neuropsychology*, 15(2), 120–135. <https://doi.org/10.1080/09297040802169077>
- Allain, P., Foloppe, D., Besnard, J., Yamaguchi, T., Etcharry-bouyx, F., Gall, D., Nolin, P., & Richard, P. (2014). Detecting Everyday Action Deficits in Alzheimer's Disease Using a No immersive Virtual Reality Kitchen. *Journal of the International Neuropsychological Society*, 20(0), 468–477. <https://doi.org/10.1017/S1355617714000344>
- Álvarez, V. & Rufo-Campos, M. (2016). Perfil Cognitivo en niños con Trastorno por Déficit de Atención con o sin Hiperactividad evaluados mediante Realidad Virtual: influencia sobre el rendimiento académico. *Vox Pediátrica*, XXII (2), 21–26.
- Ardila, A. & Ostrosky, F. (2019). What do neuropsychological tests assess? *Applied Neuropsychology: Adult*. <https://doi.org/10.1080/23279095.2019.1699099>
- Ardila, A. & Ostrosky, F. (2012). *Guía para el Diagnóstico Neuropsicológico*. México: Universidad Nacional Autónoma de México.
- Arecas, D., Dockrell, J., García, T., Gonzales-Castro, P., & Rodríguez, C. (2018). Analysis of cognitive and attentional profiles in children with and without ADHD using an innovative virtual reality tool. *PLoS ONE*, 13(18), 1–18. [10.1371/journal.pone.0201039](https://doi.org/10.1371/journal.pone.0201039)
- Arecas, D., Rodríguez, C., García, T., Cueli, M., & González-Castro, P. (2016). Efficacy of a Continuous Performance Test Based on Virtual Reality in the Diagnosis of ADHD and Its Clinical Presentations. *Journal of Attention Disorders*, 22(11), 1081-1091. DOI: [10.1177/1087054716629711](https://doi.org/10.1177/1087054716629711)
- Arvind, P., N'Kaoua, B., Mazaux, J. M., Simion, A., Lozes, S., Sorita, E., & Sauzón, H. (2014). Every day-like memory and its cognitive correlates in healthy older adults and in young patients with traumatic brain injury: a pilot study based on virtual reality. *Disability and Rehabilitation: Assistive Technology*, 9(6), 463–473. DOI: [10.3109/17483107.2014.941952](https://doi.org/10.3109/17483107.2014.941952)
- Barnett, M. D., Childers, L. G., & Parsons, T. D. (2021). A Virtual Kitchen Protocol to Measure Everyday Memory Functioning for Meal Preparation. *Brain Sciences*, 11(5), 571. <https://doi.org/10.3390/brainsci11050571>
- Bausela, E. (2009). Test y evaluación neuropsicológica. *Rev Chil Neuropsicol*. 4(2), 78-83. <https://www.redalyc.org/pdf/1793/179314913001.pdf>
- Benedet, M. (2002) *Neuropsicología cognitiva. Aplicaciones a la clínica y a la investigación fundamentada teórica y metodológica de la neuropsicología cognitiva*. Madrid: Grafo S.A.
- Bioulac, S., Lallemand, S., Rizzo, A., Philip, P., Fabrigoule, C., & Bouvard, M. (2012). Impact of time on task on ADHD patient's performances in a virtual classroom. *European Journal of Pediatric Neurology*, 16(5), 514–521. <https://doi.org/10.1016/j.ejpn.2012.01.006>
- Borgnis, F., Baglio, F., Pedrolì, E., Rossetto, F., Riva, G., & Cipresso, P. (2021). A Simple and Effective Way to Study Executive Functions by Using 360° Videos. *Frontiers in neuroscience*, 15 (1), 622095. <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fnins.2021.622095/full>

- Burgess, P. W., Alderman, N., Forbes, C., Costello, A., Coates, L. M., Dawson, D. R., Anderson, N. D., Gilbert, S. J., Dumontheil, I., & Channon, S. (2006). The case for the development and use of "ecologically valid" measures of executive function in experimental and clinical neuropsychology. *Journal of the International Neuropsychological Society*, *12*(2), 194–209. <https://doi.org/10.1017/S1355617706060310>
- Cabinio, M., Rossetto, F., Isernia, S., Saibene, F. L., Di Cesare, M., Borgnis, F., Pazzi, S., Migliazza, T., Alberoni, M., Blasi, V., & Baglio, F. (2020). The Use of a Virtual Reality Platform for the Assessment of the Memory Decline and the Hippocampal Neural Injury in (SASG). *Journal of clinical medicine*, *9*(5), 1355. <https://doi.org/10.3390/jcm9051355>
- Cano, R. (2018). *Nuevas Tecnologías en Neurorehabilitación. Aplicaciones diagnósticas y terapéuticas*. Madrid: Editorial Médica Panamericana.
- Canty, A., Fleming, J., Patterson, F., Green, H., Man, D., & Shum, D. (2014). Evaluation of a virtual reality prospective memory task for use with individuals with severe traumatic brain injury. *Neuropsychological Rehabilitation*, *24*(2), 238–265, DOI: [10.1080/09602011.2014.881746](https://doi.org/10.1080/09602011.2014.881746)
- Chicchì, I. A., Pérez, B., Gil, A., & Alcañiz, M. (2021). The Virtual Cooking Task: A Preliminary Comparison Between Neuropsychological and Ecological Virtual Reality Tests to Assess Executive Functions Alterations in Patients Affected by Alcohol Use Disorder. *Cyberpsychology, behavior and social networking*, DOI: [10.1089/cyber.2020.0560](https://doi.org/10.1089/cyber.2020.0560)
- Chua, S., Tan, N. C., Wong, W. T., Allen, J. C., Jr, Quah, J., Malhotra, R., & Østbye, T. (2019). Virtual Reality for Screening of Cognitive Function in Older Persons: Comparative Study. *Journal of medical Internet research*, *21*(8), e14821. <https://doi.org/10.2196/14821>
- Cogné, M., Taillade, M., N'Kaoua, B., Tarruella, A., Klinger, E., Larrue, F., Sauzón, H., Joseph, P., & Sorita, E. (2016). The contribution of virtual reality to the diagnosis of spatial navigation disorders and to the study of the role of navigational aids: A systematic literature review. *Annals of Physical and Rehabilitation Medicine*, *60*(3), 164–176. DOI: [10.1016/j.jrehab.2015.12.004](https://doi.org/10.1016/j.jrehab.2015.12.004)
- Corriveau, N., Ouellet, É., Boller, B., & Belleville, S. (2020). Use of immersive virtual reality to assess episodic memory: A validation study in older adults. *Neuropsychological Rehabilitation*, *30*(3), 462–480, DOI: [10.1080/09602011.2018.1477684](https://doi.org/10.1080/09602011.2018.1477684)
- Delgado-Reyes, A., Ocampo, T., & Sánchez, J. (2020). Realidad virtual: evaluación e intervención en el trastorno del espectro autista. *Revista Electrónica de Psicología Iztacala*, *23*(1) 369–399. <http://www.revistas.unam.mx/index.php/repi/article/view/75396/66766>
- Delgado-Reyes, A. & Sánchez, J. (2021) Realidad virtual: evaluación e intervención en el trastorno por déficit de atención/hiperactividad (TDAH). *Revista Electrónica de Psicología Iztacala*, *24*(1) 72–99. <https://www.medigraphic.com/pdfs/epsicologia/epi-2021/epi211d.pdf>
- Díaz-Orueta, U., Fernández-Fernández, M., Morillo-Rojas, M., & Climent, G. (2016). Eficacia de la lisdexanfetamina en la mejora sintomática conductual y cognitiva del trastorno por déficit de atención/hiperactividad: tratamiento monitorizado mediante el test AULA Nesplora de realidad virtual. *Rev Neurol*, *63*(1), 19–27. DOI: <https://doi.org/10.33588/rn.6301.2015488>
- Díaz-Orueta, U., García-López, C., Crespo-Eguílaz, N., Sánchez-Carpintero, R., Climent, G., & Narbona, J. (2014). AULA virtual reality test as an attention measure: Convergent validity with Conner's Continuous Performance Test. *Child Neuropsychology*, *20*(3), 328–342. <https://doi.org/10.1080/09297049.2013.792332>
- Eom, H., Kim, K. (Kenny), Lee, S., Hong, Y.-J., Heo, J., Kim, J. J., y Kim, E. (2019). Development of Virtual Reality Continuous Performance Test Utilizing Social Cues for Children and Adolescents with Attention-Deficit/Hyperactivity Disorder. *Cyberpsychology, Behavior, and Social Networking*, *22*(3), 198–204. DOI: [10.1089/cyber.2018.0377](https://doi.org/10.1089/cyber.2018.0377)
- Fang, Y., Han, D., & Luo, H., (2019) A virtual reality application for assessment for attention deficit hyperactivity disorder in school-aged children. *Neuropsychiatr Dis Treat*, *15*(1), 1517–1523. <https://doi.org/10.2147/NDT.S206742>
- Fernández, M., Morillo, M., & Alonso, L. (2012). Valoración Test-retest del estudio Aula Nesplora para la valoración del TDAH. XXXVI Reunión Anual de la Sociedad Española de Neurología Pediátrica. *Revista de Neurología*, *54*(Supl 3), 288.
- Foerster, R. M., Poth, C. H., Behler, C., Botsch, M., & Schneider, W. X. (2019). Neuropsychological assessment of visual selective attention and processing capacity with head-mounted displays. *Neuropsychology*, *33*(3), 309–318. <https://doi.org/10.1037/neu0000517>
- Fong, K. N., Chow, K. Y., Chan, B. C., Lam, K. C., Lee, J. C., Li, T. H., Yan, E. W., & Wong, A. T. (2010). Usability of a virtual reality environment simulating an automated teller machine for assessing and training persons with acquired brain injury. *Journal of neuroengineering and rehabilitation*, *7*(1), 19. <https://doi.org/10.1186/1743-0003-7-19>
- Greenwood, K. E., Morris, R., Smith, V., Jones, A. M., Pearman, D., & Wykes, T. (2016). Virtual shopping: A viable alternative to direct assessment of real-life function? *Schizophrenia research*, *172*(13), 206–210. <https://doi.org/10.1016/j.schres.2016.02.029>
- Grewe, P., Kohsik, A., Flentge, D., Dyck, E., Botsch, M., Winter, Y., ...Piefke, M. (2013). Learning real-life cognitive abilities in a novel 360 ° virtual reality supermarket: a neuropsychological study of healthy participants and patients with epilepsy. *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation*, *10* (1), 1–15. <https://doi.org/doi:10.1186/17430003-10-42>
- Hebben, N. & Milberg, W. (2011). *Fundamentos para la evaluación neuropsicológica*. México: Manual Moderno.
- Henry, M., Joyal, C. C., & Nolin, P. (2012). Development and initial assessment of a new paradigm for assessing cognitive and motor inhibition: the bimodal virtual-reality Stroop. *Journal of neuroscience methods*, *210*(2), 125–131. <https://doi.org/10.1016/j.jneumeth.2012.07.025>
- Horan, B., Heckenberg, R., Maruff, P., & Wright, B. (2020). Development of a new virtual reality test of cognition: assessing the test-retest reliability, convergent and ecological validity of CONVIRT. *BMC psychology*, *8*(1), 61. <https://doi.org/10.1186/s40359-020-00429-x>
- Iriarte, Y., Díaz-Orueta, U., Cueto, E., Irazustabarrena, P., Banterla, F., & Climent, G. (2012). AULA—Advanced Virtual Reality Tool for the Assessment of Attention: Normative Study in Spain. *Journal of Attention Disorders*, *20*(6), 542–568. <https://doi.org/10.1177/1087054712465335>
- Jebara, N., Orriols, E., Zaoui, M., Berthoz, A., & Piolino, P. (2014). Effects of enactment in episodic memory: a pilot virtual reality study with young and elderly adults. *Frontiers in aging neuroscience*, *6*(1) 338. <https://doi.org/10.3389/fnagi.2014.00338>
- Josman, N., Kizony, R., Hof, E., Goldenberg, K., Weiss, P. L., & Klinger, E. (2014). Using the virtual action planning-supermarket for evaluating executive functions in people with stroke. *Journal of stroke and cerebrovascular diseases: the official journal of National Stroke Association*, *23*(5), 879–887. <https://doi.org/10.1016/j.jstrokecerebrovasdis.2013.07.013>
- Kourtesis, P., Collina, S., Dumas, L., & MacPherson, S. E. (2021). Validation of the Virtual Reality Everyday Assessment Lab (VR-EAL): An Immersive Virtual Reality Neuropsychological Battery with Enhanced Ecological Validity. *Journal of the International Neuropsychological Society : JINS*, *27*(2), 181–196. <https://doi.org/10.1017/S1355617720000764>
- Kurtz, M., Baker, E., Pearson, G. & Astur, R. (2007). A Virtual Reality Apartment as a Measure of Medication Management Skills in Patients With Schizophrenia: A Pilot Study. *Schizophrenia Bulletin*, *33*(5), 1162–1170, <https://doi.org/10.1093/schbul/sbi039>
- Lalonde, G., Henry, M., Drouin-Germain, A., Nolin, P., y Beauchamp, M. H. (2013). Assessment of executive function in adolescence: a comparison of traditional and virtual reality tools. *Journal of neuroscience methods*, *219*(1), 76–82. <https://doi.org/10.1016/j.jneumeth.2013.07.005>
- Lamargue-Hamel, D., Deloire, M., Saubusse, A., Ruet, A., Taillard, J., Philip, P., y Brochet, B. (2015). Cognitive evaluation by tasks in a virtual reality environment in multiple sclerosis. *Journal of the neurological sciences*, *359*(1-2), 94–99. <https://doi.org/10.1016/j.jns.2015.10.039>
- Lee, J. H., Ku, J., Cho, W., Hahn, W. Y., Kim, I. Y., Lee, S.-M., Kang, Y., Kim, D., Yu, T., Wiederhold, B., Wiederhold, M. & Kim, S. I. (2003). A Virtual Reality System for the Assessment and Rehabilitation of the Activities of Daily Living. *Cyberpsychology & Behavior*, *6*(4), 383–388. DOI: [10.1089/109493103322278763](https://doi.org/10.1089/109493103322278763)
- Manera, V., Petit, P. D., Derreumaux, A., Orvieto, I., Romagnoli, M., Lyttle, G., David, R., & Robert, P. H. (2015). 'Kitchen and cooking,' a serious game for mild cognitive impairment and Alzheimer's disease: a pilot study. *Frontiers in aging neuroscience*, *7*(1), 24. <https://doi.org/10.3389/fnagi.2015.00024>

- Martínez, A. (2017). *Realidad Virtual aplicada a la evaluación del TDAH en el departamento de orientación*. Aula Nesplora. Salamanca: Universidad de Salamanca.
- Matheis, R. J., Schultheis, M. T., Tiersky, L. A., DeLuca, J., Millis, S. R., & Rizzo, A. (2007). Is Learning and Memory Different in a Virtual Environment? *The Clinical Neuropsychologist*, 21(1), 146–161. DOI: [10.1080 / 13854040601100668](https://doi.org/10.1080/13854040601100668)
- Mesa-Gresa, P., Gil-Gómez, H., Lozano-Quilis, J. A., & Gil-Gómez, J. A. (2018). Effectiveness of Virtual Reality for Children and Adolescents with Autism Spectrum Disorder: An Evidence-Based Systematic Review. *Sensors*, 18(8), 2486. <https://doi.org/10.3390/s18082486>
- Mishkind, M., Norr, A., Katz, A., & Reger, G. (2017). Review of Virtual Reality Treatment in Psychiatry: Evidence Versus Current Diffusion and Use. *Current Psychiatry Reports*, 19(11). DOI: [10.1007 / s11920-017-0836-0](https://doi.org/10.1007/s11920-017-0836-0)
- Negut, A., Jurma, A., & David, D. (2016). Virtual-reality-based attention assessment of ADHD: ClinicaVR: Classroom-CPT versus a traditional continuous performance test. *Child Neuropsychology*, 23(6), 692–712. DOI: [10.1080 / 09297049.2016.1186617](https://doi.org/10.1080/09297049.2016.1186617)
- Negut, A., Matu, S., Alin, F., & David, D. (2016). Task difficulty of virtual reality-based assessment tools compared to classical paper-and-pencil or computerized measures: A meta-analytic approach. *Computers in Human Behavior*, 54, 414–424. <https://doi.org/10.1016/j.chb.2015.08.029>
- Nir-Hadad, S., Weiss, P., Waizman, A., Schwartz, A., & Kizony, R. (2017). A virtual shopping task for the assessment of executive functions: Validity for people with stroke. *Neuropsychological Rehabilitation*, 27(5), 808–833. DOI: [10.1080 / 09602011.2015.1109523](https://doi.org/10.1080/09602011.2015.1109523)
- Nolin, P., Stipanovic, A., Henry, M., Lachapelle, Y., Lussier-desrochers, D., Rizzo, A., & Allain, P. (2016). ClinicaVR: Classroom-CPT: A virtual reality tool for assessing attention and inhibition in children and adolescents. *Computers in Human Behavior Journal*, 59(1) 327–333. <https://doi.org/10.1016/j.chb.2016.02.023>
- Nori, R., Piccardi, L., Migliori, M., Guidazzoli, A., Frasca, F., De Luca, D., & Giusberti, F. (2015). The virtual reality Walking Corsi Test. *Computers in Human Behavior*, 48(1), 72–77. <https://doi.org/10.1016/j.chb.2015.01.035>
- Okahashi, S., Seki, K., Nagano, A., Luo, Z., Kojima, M., & Futaki, T. (2013). A virtual shopping test for realistic assessment of cognitive function. *Journal of neuroengineering and rehabilitation*, 10(1), 59. <https://doi.org/10.1186/1743-0003-10-59>
- Ouellet, É., Boller, B., Corrivieu-Lecavalier, N., Cloutier, S., & Belleville, S. (2018). The Virtual Shop: A new immersive virtual reality environment and scenario for the assessment of everyday memory. *Journal of Neuroscience Methods*, 303, 126–135. DOI: [10.1016 / j.jneumeth.2018.03.010](https://doi.org/10.1016/j.jneumeth.2018.03.010)
- Parsons, T. D., Courtney, C. G., & Dawson, M. E. (2013). Virtual reality Stroop task for assessment of supervisory attentional processing. *Journal of Clinical and Experimental Neuropsychology*, 35(8), 812–826. <https://doi.org/10.1080/13803395.2013.824556>
- Parsons, T. D., & Rizzo, A. A. (2008). Initial validation of a virtual environment for assessment of memory functioning: virtual reality cognitive performance assessment test. *Cyberpsychology & behavior: the impact of the Internet, multimedia and virtual reality on behavior and society*, 11(1), 17–25. <https://doi.org/10.1089/cpb.2007.9934>
- Peñasco-Martín, B., De Los Reyes-Guzmán, A., Gil-Agudo, Á., Bernal-Sahún, A., Pérez-Aguilar, B., & De La Peña-González, A. (2010). Aplicación de la realidad virtual en los aspectos motores de la neurorrehabilitación. *Rev Neurol*, 51(8), 481–488. <https://doi.org/10.33588/rn.5108.2009665>
- Piccardi, L., Bianchini, F., Argento, O., Nigris, A., Maialetti, A., Palermo, L., & Guariglia, C. (2012). The Walking Corsi Test (WalCT): standardization of the topographical memory test in an Italian population. *Neural Sci*, 34, 971–978. <https://doi.org/10.1007/s10072-012-1175-x>
- Piccardi, L., Iaria, G., Ricci, M., Bianchini, F., Zompanti, L., & Guariglia, C. (2008). Walking in the Corsi test: Which type of memory do you need? *Neuroscience Letters*, 432, 127–131. <https://doi.org/10.1016/j.neulet.2007.12.044>
- Piccardi, L., Palermo, L., Leonzi, M., Riseti, M., Zompanti, L., & Guariglia, C. (2014). The Walking Corsi Test (WalCT): A Normative Study of Topographical Working Memory in a Sample of 4- to 11-year-olds. *The Clinical Neuropsychologist*, 28(1), 84–96. <https://doi.org/10.1080/13854046.2013.863976>
- Pieri, L., Serino, S., Cipresso, P., Mancuso, V., Riva, G. & Pedroli, E. (2021). The ObReco-360°: a new ecological tool to memory assessment using 360° immersive technology. *Virtual Reality*. <https://doi.org/10.1007/s10055-021-00526-1>
- Pinel, J. (2010) *Biopsicología*. Madrid: Pearson Educación.
- Ponce-Barbosa, E., Delgado-Reyes, A., Pachón, D., Bertel, L., Toro, J. & Gaviria, F. (2021). Activación psicofisiológica de pacientes con zoofobias ante un ambiente de realidad virtual. *Revista Virtual Universidad Católica del Norte*, 62(1), 121-154. <https://www.doi.org/10.35575/rvucn.n62a6>
- Rand, D., Rukan, S. B., (Tamar) Weiss, P. L., & Katz, N. (2009). Validation of the Virtual MET as an assessment tool for executive functions. *Neuropsychological Rehabilitation*, 19(4), 583–602. DOI: [10.1080 / 09602010802469074](https://doi.org/10.1080/09602010802469074)
- Renison, B., Ponsford, J., Testa, R., Richardson, B., & Brownfield, K. (2012). The ecological and construct validity of a newly developed measure of executive function: The virtual library task. *Journal of the International Neuropsychological Society*, 18(3), 440–450. <https://doi.org/10.1017/S135561711001883>
- Restrepo, G., Calvachi, L., Cano, I. C., & Ruiz, A. L. (2019). Las funciones ejecutivas y la lectura: Revisión sistemática de la literatura. *Informes Psicológicos*, 19(2), 81-94. <https://doi.org/10.18566/infpsic.v19n2a06>
- Reynolds C. R., Altmann R. A., & Allen D.N. (2021). *Neuropsychological Testing*. In: *Mastering Modern Psychological Testing*. Springer: Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-59455-8_13
- Rizzo, A., Bowerly, T., Buckwalter, J., Schultheis, M., Matheis, R., Shahabi, C., Neuman, U., Kim, L., & Sharifzadeh, M. (2002). Virtual environments for the assessment of attention and memory processes: the virtual classroom and office. *International Conference of Disability, Virtual Reality, & Associated Technology*, 2002, 3–12. <https://infolab.usc.edu/DocsDemos/ICDVRAT2002.pdf>
- Rizzo, A., Buckwalter, J., Bowerly, T., van der Zaag, C., Humphrey, L., Neumann, U., Chua, C., Kyriakakis, C., Van Rooyen, A., & Sisemore, D. (2000). The virtual classroom: A virtual reality environment for the assessment and rehabilitation of attention deficits. *CyberPsychology & Behavior*, 3(3), 483–499. <https://doi.org/10.1089/10949310050078940>
- Robitaille, N., Jackson, P., Hébert, L., Mercier, C., Bouyer, L., Fecteau, S., Richards, C., & McFadyen, B. (2016) A Virtual Reality avatar interaction (VRai) platform to assess residual executive dysfunction in active military personnel with previous mild traumatic brain injury: proof of concept. *Disability and Rehabilitation: Assistive Technology*, 12(7), 758–764, DOI: [10.1080/17483107.2016.1229048](https://doi.org/10.1080/17483107.2016.1229048)
- Rodríguez, C., Areces, D., García, T., Cuelli, M., & González-Castro, P. (2018). Comparison between two continuous performance tests for identifying ADHD: Traditional vs. virtual reality. *International Journal of Clinical and Health Psychology*, 18(3), 189–282. <https://doi.org/10.1016/j.ijchp.2018.06.003>
- Rosas, K., Parrón, I., Serrano, P., & Cimadevilla, J. M. (2013). Spatial recognition memory in a virtual reality task is altered in refractory temporal lobe epilepsy. *Epilepsy & Behavior*, 28(2), 227–231. <https://doi.org/10.1016/j.yebeh.2013.05.010>
- Rufo, M., Cuesto, E., Iriarte, Y. & Rufo, M. (2012). Utilidad del estudio Aula Nesplora en la valoración del TDAH. XXXVI Reunión Anual de la Sociedad Española de Neurología Pediátrica. *Revista de Neurología*, 54(Supl 3), 288.
- Sakai, H., Nagano, A., Seki, K., Okahashi, S., Kojima, M., & Luo, Z. (2017). Development of a cognitive function test using virtual reality technology: examination in healthy participants. *Aging, Neuropsychology, and Cognition*, 10(1), 1–15. <https://doi.org/10.1080/13825585.2017.1351916>
- Schöne, B., Kisker, J., Sylvester, R., Radtke, E., & Gruber, T. (2021). Library for universal virtual reality experiments (luVR): A standardized immersive 3D/360° picture and video database for VR based research. *Curr Psychol* <https://doi.org/10.1007/s12144-021-01841-1>
- Serino, S., Baglio, F., Rossetto, F., Realdon, O., Cipresso, P., Parsons, T., Cappellini, G., Mantovani, F., De leo, G., Nemni, R., & Riva, G. (2017). Picture Interpretation Test (PIT) 360°: An Innovative Measure of Executive Functions. *Sci Rep* 7, 16000 <https://doi.org/10.1038/s41598-017-16121-x>
- Tarnanas, I., Schlee, W., Tsolaki, M., Müri, R., Mosimann, U., & Nef, T. (2013). Ecological validity of virtual reality daily living activities screening for early dementia: longitudinal study. *JMIR serious games*, 1(1), e1. <https://doi.org/10.2196/games.2778>

- Teel, E., Gay, M., Johnson, B., & Slobounov, S. (2016). Determining sensitivity/specificity of virtual reality-based neuropsychological tool for detecting residual abnormalities following sport-related concussion. *Neuropsychology*, 30(4), 474–483. <https://doi.org/10.1037/neu0000261>
- Tirapu, J. (2007). La evaluación neuropsicológica. *Intervención Psicosocial*, 16(2) 189-211. <https://scielo.isciii.es/pdf/inter/v16n2/v16n2a05.pdf>
- Tirapu-Ustarroz, J., Bausela, E. & Cordero, C. (2018). Modelo de funciones ejecutivas basado en análisis factoriales en población infantil y escolar: metaanálisis, *Revista de Neurología*, 67(6), 215-225. DOI: <https://doi.org/10.33588/rn.6706.2017450>
- Valladares-Rodríguez, S., Perez-Rodríguez, R., Facal, D., Fernandez-Iglesias, M. J., Anido-Rifon, L., & Mouriño-García, M. (2017). Design process and preliminary psychometric study of a video game to detect cognitive impairment in senior adults. *PeerJ* 5:e3508 <https://doi.org/10.7717/peerj.3508>
- Weniger, G., & Irle, E. (2006). Posterior parahippocampal gyrus lesions in the human impair egocentric learning in a virtual environment. *European Journal of Neuroscience*, 24(8), 2406–2414. <https://doi.org/10.1111/j.1460-9568.2006.05108.x>
- Xi, N. & Hamari, J. (2021). Shopping in virtual reality: a literature review and future agenda. *Journal of Business Research*, 134(1), 37-58. <https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2021.04.075>