



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**

---

---

**FACULTAD DE PSICOLOGÍA**

**"EFECTO DE UNA PLATAFORMA VIRTUAL DE TELE-REHABILITACIÓN SOBRE LAS FUNCIONES COGNITIVAS DE DOS PACIENTES CON UN TCE SEVERO".**

**TESIS**

Que para obtener el título de  
LICENCIADO EN PSICOLOGÍA

PRESENTA:

**Gaspar Pérez Ayora**

Directora:

Dra. María Georgina Cárdenas López

Revisor:

Dr. Felipe Cruz Pérez

Sínodo:

Mtro. Rodolfo Esparza Márquez

Dr. Jorge Rogelio Pérez Espinosa

Dr. Julio Espinosa Rodríguez



Ciudad Universitaria, CDMX.

MMXIX



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

## Agradecimientos

A la Dra. Georgina Cárdenas López por abrimme las puertas del Laboratorio de Enseñanza Virtual y Ciberpsicología, permitirme ingresar a este proyecto y desarrollar así la trayectoria profesional que me gustaría que siga mi vida. Agradezco profundamente toda la comprensión y el apoyo brindado, junto a todos los momentos que dedicó para enseñarme y transmitirme herramientas adecuadas para poder llevar a cabo este trabajo.

Al Dr. Felipe Cruz Pérez por ser mi profesor en tres diferentes asignaturas en la licenciatura, impulsarme a pensar más allá y descubrir las implicaciones de diversas investigaciones en cada trabajo semanal durante las clases. Gracias por enseñarme una perspectiva diferente de la neuropsicología.

Al Mtro. Rodolfo Esparza Márquez, no sólo por creer en este trabajo, sino en permitir desarrollar mi visión de las cosas durante dos clases en la licenciatura. Esas clases fueron una pausa para poder pensar más allá y definir qué herramientas quería aplicar a la psicología.

Al Dr. Jorge Rogelio Pérez Espinosa por hacerme ver el lado humano de la psicología desde los inicios de la carrera, y por preguntar y mostrar interés en mi proceso de titulación. Le agradezco que, una vez llegado este proceso, aceptara estar aquí para verlo concluido.

Al Dr. Julio Espinosa Rodríguez. Tan pronto como segundo semestre, sus clases me mostraron una vertiente de la psicología que me llamó la atención y me ayudó a construir la búsqueda de evidencia entre todo el conocimiento que nos inunda y, más importante, a buscar una manera de aplicarlo para solucionar problemas del entorno.

A los profesores (en orden de aparición en esta ópera magna llamada licenciatura): Víctor Sastré, María Concepción Morán, David Natanael Velázquez, Óscar Zamora, Jorge Peralta Álvarez, Germán Álvarez Díaz de León, César Casasola, Miriam Camacho, Adrián Medina Liberty, Óscar Galicia, Rogelio Flores, Rodrigo Peniche, Guadalupe Medina, Juan José Sánchez Sosa. Durante un semestre, o varios, me permitieron expandir y desarrollar mis ideas y definiendo poco a poco lo que significa la psicología para mí.

## Dedicatoria

*“Drink with me to days gone by,  
To the life that used to be.  
At the shrine of friendship, never say die.  
Let the wine of friendship never run dry.  
Here’s to you and here’s to me.”*

Diana Ayora. “Tú que me mirabas como nadie supo mirar, tú que protegías la vela si empezaba a temblar. Tú que me leías cuentos que me hicieron volar”. Es imposible contar mi historia sin mencionarte, y habría sido muy difícil concluir de esta manera la licenciatura de no ser por tu apoyo. Gracias por tu amor, gracias por tu incondicionalidad, gracias por tu apoyo, gracias por tus palabras, gracias por tu dedicación, gracias por tu fuerza para ayudarme a espantar a los monstruos del armario. Gracias por ser un pilar fundamental en mi vida, y gracias por jamás darte por vencida conmigo, incluso en los momentos más duros. Me hiciste ver que podía ser fuerte incluso cuando me creía la persona más débil. Esta dedicatoria es un continuo, porque cada logro también habrá sido gracias a lo que tú aportaste.

Cuauhtémoc Pérez. Aunque durante mucha parte de mi vida no lo entendí, tus conceptos de trabajo, de esfuerzo, dedicación y de compromiso son parte de lo que quiero llevar conmigo toda mi vida. Gracias por tu apoyo, por tus llamadas para preguntar cómo estoy, para preguntar cómo iban las cosas, por escucharme acerca de los planes y sueños que tengo, y por dedicar tiempo a ayudarme a encontrar una manera de lograrlos. Gracias por esas servilletas en las que escribías ecuaciones o diagramas. No lo entendía, pero era tu manera de hacernos crecer a Alejandro y a mí. Gracias por tus “siempre hacia adelante”.

Alejandro. Es curioso, yo pienso que nuestros hermanos pequeños rara vez se dan cuenta de que los admiramos mucho más de lo que ellos a nosotros, tal vez por eso no tengo tantas palabras. No teníamos de otra, pero gracias por crecer junto a mí. Gracias por las bromas, las pláticas inteligentes, y todo lo que yace entre ellas. Siempre serás mi hermanito. We must be over the rainbow.

Bianca Castillo. Esta tesis no existiría de esta manera si no fuera por ti. En primer lugar, gracias por tomarte el tiempo de escuchar cada idea que tenía para esto, y aportar tú cosas muy buenas que la complementaron. Gracias por tomarte el tiempo de revisarlas y hacer investigación junto a mí para hacer sentido de todos los datos que estaban presentes. Gracias por acompañarme en todos los trámites necesarios. Desde el primer borrador que existió de esta tesis has estado, y una sección de dedicatoria no alcanza para decirte todo lo agradecido que estoy por tu apoyo en la realización de ésta. Gracias por ser una revisora más de este trabajo, gracias por ser mi compañera en el laboratorio, gracias por ser mi compañera de vida durante el último par de años. Gracias por construir momentos increíbles conmigo a lo largo de todo este tiempo. Jag älskar dig.

Carmen Montes. Gracias por ser una fuente inagotable de ternura, gracias por todas las veces que nos pedías que nos cuidáramos en Ciudad de México. Esta tesis también va a dedicada a ti, por ser la abuela más increíble que alguien pudiese tener. Si algo descubrí en estos últimos años, es que la memoria no vive sólo dentro de nosotros, sino se ve reflejada en los demás. “Cuando creas que la vida se ha olvidado de ti, no dejaré de

susurrarte al oído que estoy contigo. Cuando llegue la nostalgia a separarte de mí, yo gritaré para que escuche el olvido que aún no te has sido. Que yo siga aquí.”

Mitsunori Ota. La culminación de todo este tiempo de licenciatura está dedicada a ti, porque fuiste mi mejor amigo en esta universidad durante muchos años, y espero que esa amistad no se pierda. Gracias por todo tu apoyo, por escuchar mis quejas, por quejarte junto a mí, por trabajar juntos y por inspirarnos a ser mejores.

Diana Karen Montes. Gracias también a ti por tu apoyo desde primer semestre, y estar para Mitsu y para mí cuando no teníamos ni idea de con quién trabajar. Gracias por escucharme muchas veces y gracias por estar para mí en clases tan raras en las que no tenía a nadie más.

Jesús Luna. Lo logré. Después de tanto, lo logré. Gracias por ser un apoyo de Villahermosa que se extendió hacia Ciudad de México. Gracias por todo el soporte durante este año.

José Carlos Aviña y César Castro. Tardé demasiado, pero al fin puedo escribirles unas palabras que vayan a quedar impregnadas en papel. Gracias por ser mis mejores amigos durante casi toda mi vida. Gracias por todo el apoyo que me brindaron, y gracias por todo el tiempo que pasamos juntos. Jamás se irá de mi vida.

Nikolai Stepanov. Si en algunos momentos no desistí, fue gracias a tus palabras y tu apoyo. Gracias por ayudarme a ver la realidad tal cómo es y no dejar que una versión distorsionada pueda ganar. Gracias por ayudarme a aceptar los miedos y descubrir que pueden estar hechos de cartón. “Сквозь грозы сияло нам солнце свободы”

Raúl Durón. Gracias por apuntarme en la dirección correcta para descubrir la significancia clínica y poder aportar más solidez a los resultados aquí presentados.

Sebastián Hernández y toda la legión de Oaxaca. Gracias por adoptarme y permitirme entrar en sus vidas y convivir con ustedes. Han sido ya algunos años y les estoy muy agradecido por tanto apoyo.

David Darel Domínguez, Ricardo Dávalos, Francisco Ariza, Nicolás López Lara, Ricardo Cortés, Breno Chan. Cada uno de ustedes está lejos y en sus propias vidas, pero fuimos familia durante algunos meses, y cada uno me ayudó a no sentirme tan solo en la Ciudad de México. Va por ustedes también.

Dr. José Díaz Martínez. Gracias por todas las horas escuchando y ayudarme a calmar la tempestad en mi cabeza. Gracias por ayudarme a encontrar inspiración dentro de mí para hacer este trabajo, y gracias por darme herramientas para poder afrontar a todos los demonios que caminan debajo de nosotros. Gracias por escuchar mi historia. Gracias por ayudarme a cambiarla.

# CONTENIDO

RESUMEN.....	1
ABSTRACT .....	2
INTRODUCCIÓN.....	3
CAPÍTULO 1. <b>TRAUMATISMO CRÁNEO-ENCEFÁLICO</b> .....	6
<b>1.1 Consideraciones epidemiológicas</b> .....	7
<b>1.2 Consideraciones etiológicas</b> .....	7
<b>1.3 Fisiopatología</b> .....	7
<b>1.3.1 Clasificación de los traumatismos cráneo-encefálicos</b> .....	8
<b>1.3.2 Mecanismos del Traumatismo Cráneo-encefálico</b> .....	10
<b>1.4 Evaluación, diagnóstico y pronóstico de los traumatismos cráneo-encefálicos</b> .....	12
<b>1.4.1 Traumatismo cráneo-encefálico leve</b> .....	12
<b>1.4.2 Traumatismo cráneo-encefálico moderado</b> .....	13
<b>1.4.3 Traumatismo cráneo-encefálico grave</b> .....	14
<b>1.4.4 Consideraciones acerca de la clasificación por gravedad</b> .....	14
CAPÍTULO 2. <b>CONSIDERACIONES NEUROPSICOLÓGICAS</b> .....	16
<b>2.1 Neuropsicología de la atención</b> .....	16
<b>2.1.1 Afección de los procesos atencionales en los TCE</b> .....	19
<b>2.2 Neuropsicología de la memoria</b> .....	21
<b>2.2.1 Afección de los procesos de memoria en los TCE</b> .....	23
<b>2.3 Neuropsicología de las funciones ejecutivas</b> .....	25
<b>2.3.1 Afección de las funciones ejecutivas en los TCE</b> .....	26
<b>2.4 Cambios afectivos tras un TCE</b> .....	28
<b>2.5 Consideraciones finales</b> .....	30
CAPÍTULO 3. <b>REHABILITACIÓN DE PROCESOS COGNITIVOS AFECTADOS POR TRAUMATISMOS CRÁNEO-ENCEFÁLICOS</b> .....	31
<b>3.1 Aproximaciones tradicionales a la rehabilitación de los procesos cognitivos afectados en los TCE</b> .....	31
<b>3.2 Aproximaciones apoyadas en tecnología para la rehabilitación de los procesos cognitivos afectados por los TCE</b> .....	33

<b>3.3 Tele-rehabilitación.....</b>	35
<b>3.4 Tele-rehabilitación y Realidad Virtual.....</b>	37
<b>CAPÍTULO 4. MÉTODO.....</b>	40
<b>4.1 Justificación.....</b>	40
<b>4.2 Planteamiento del Problema.....</b>	41
<b>4.3 Preguntas de Investigación.....</b>	42
<b>4.4 Objetivo general.....</b>	42
<b>4.4.1 Objetivos específicos.....</b>	42
<b>4.5 Hipótesis.....</b>	43
<b>4.6 Variables.....</b>	43
<b>4.7 Diseño y tipo de estudio.....</b>	46
<b>4.8 Tipo de muestra.....</b>	46
<b>4.9 Participantes.....</b>	46
<b>4.10 Instrumentos.....</b>	47
<b>4.11 Procedimiento.....</b>	50
<b>CAPÍTULO 5. RESULTADOS.....</b>	53
<b>5.1 Evaluación neuropsicológica general.....</b>	54
<b>5.2 Efecto de la intervención sobre los procesos de atención.....</b>	59
<b>5.3 Efecto de la intervención sobre los procesos de memoria.....</b>	62
<b>5.5 Efecto de la intervención sobre el estado anímico.....</b>	71
<b>5.6 Usabilidad del Sistema.....</b>	74
<b>5.7 Cambio confiable y significancia clínica.....</b>	75
<b>CAPÍTULO 6. DISCUSIÓN.....</b>	78
<b>6.1 Diferencias en el funcionamiento cognitivo general.....</b>	79
<b>6.2 Cambios en los procesos de atención.....</b>	79
<b>6.3 Cambios en los procesos de memoria.....</b>	81
<b>6.4 Cambios en el funcionamiento ejecutivo.....</b>	84
<b>6.5 Cambios en el estado anímico.....</b>	86
<b>6.6 Efecto general del programa de rehabilitación cognitiva.....</b>	88
<b>CAPÍTULO 7. CONCLUSIONES.....</b>	92
<b>7.1 Limitaciones.....</b>	95
<b>7.2 Sugerencias a futuro.....</b>	97
<b>REFERENCIAS.....</b>	98



## RESUMEN

Los traumatismos craneo-encefálicos (TCE) provocan secuelas cognitivas que se manifiestan en daños en atención, memoria, funciones ejecutivas e incluso inciden sobre el estado anímico de quienes los padecen. La rehabilitación de estas funciones es un proceso largo y arduo que requiere de la repetición extensiva de ejercicios. El objetivo del presente trabajo es analizar el efecto de una plataforma de rehabilitación construida en realidad virtual para rehabilitar las funciones cognitivas en dos participantes con un traumatismo craneo-encefálico grave. Los dos participantes fueron elegidos de forma no probabilística, con una edad de 29 años y un año de evolución después del accidente. Después de consentir participar en este estudio, se realizó una evaluación pre-test que consistió en la aplicación de la evaluación neuropsicológica breve en español, evaluación cognitiva de Montreal, *color trails test*, test de clasificación de cartas de Wisconsin, entre otras. Después se intervino con ejercicios en realidad virtual durante diez sesiones para posteriormente realizar las mismas evaluaciones cognitivas y comparar las diferencias. Se realizaron análisis de inspección visual, cálculos de cambio confiable y de significancia clínica para determinar el efecto que tuvo la plataforma de rehabilitación en realidad virtual. En ambos participantes se encuentran cambios significativos en el ámbito de memoria, atención, funciones ejecutivas y sintomatología depresiva, determinando así que las intervenciones apoyadas en realidad virtual pueden contribuir a mejorar procesos cognitivos afectados por un TCE.

**Palabras Clave:** Traumatismo Craneo-Encefálico, Rehabilitación, Realidad Virtual, Atención, Memoria, Funciones Ejecutivas, Estado Anímico.

## ABSTRACT

Traumatic Brain Injuries (TBI) produce cognitive sequelae that manifest themselves in deficits in attention, memory, executive functions and even affect the emotional state of the patient. Rehabilitation of these functions is a long and arduous process that require extensive repetition of exercises. The goal of this work is to analyze the effect of a rehabilitation platform built in virtual reality to rehabilitate the cognitive functions in two participants with severe traumatic brain injury. The two participants were chosen in a non-probabilistic way, with ages of 29 years old and one year after the injury. After their consent to participate in this study, a pre-test evaluation was carried out. This evaluation comprised several tests such as the Spanish brief neuropsychological evaluation, the Montreal cognitive assessment, color trails test, Wisconsin sorting card test, among others. After the evaluation the participants completed ten sessions with tasks in virtual reality and at the end they were assessed with the same tests and differences were compared. Visual inspection analyses, reliable change and clinical significance were performed in order to determine the effect of the virtual reality rehabilitation platform. In both participants significant changes were observed in memory, attention, executive function and depressive symptomatology. The virtual reality based intervention can contribute to boost cognitive processes affected by a TBI.

**Key Words:** Traumatic Brain Injury, Rehabilitation, Virtual Reality, Attention, Memory, Executive Functions, Mood.

## INTRODUCCIÓN

Los traumatismos cráneo-encefálicos (TCE) forman parte de las lesiones cerebrales adquiridas, y hacen referencia a una lesión en el cerebro originada por una fuerza externa, siendo la primera causa de muerte y discapacidad en adultos jóvenes en el mundo (Williams, 2018).

Un traumatismo cráneo-encefálico (TCE) es un cambio en la estructura o función del encéfalo provocado por una fuerza biomecánica aplicada al cerebro (Menon *et al.*, en Turkstra y Politis, 2017). Aunque hay afecciones específicas, de acuerdo con estos autores, el daño ocasionado por el traumatismo se manifiesta de manera difusa y multifocal, y “afecta funciones cognitivas que subyacen al uso del lenguaje, en lugar del lenguaje por sí mismo”. (Turkstra y Politis, 2017, p. 291). A diferencia de una lesión leve en la cabeza de carácter común, los traumatismos cráneo-encefálicos causan una deficiencia mayor y persistente en el funcionamiento cognitivo (Shretlen y Shapiro, 2003).

En el contexto mexicano, los TCE representan la cuarta causa de muerte (dentro del ámbito de las muertes y violentas y accidentes) con una mortalidad de 38.8 por cada 100,000 habitantes (Carrillo y Meza, 2015). La incidencia de los TCE en países en desarrollo suele ser más alta que en países desarrollados (Faul y Coronado, 2015). Estos autores lo atribuyen, en parte, a la urbanización y al aumento del uso de vehículos motorizados que ésta trae consigo. Sobre esta línea, Carrillo y Meza (2015) mencionan que en México los accidentes de tráfico representan el 75% de las causas de un TCE, afectando a personas jóvenes, motociclistas y personas que manejan en estado de ebriedad.

La gravedad de este problema también se refleja en la cantidad de recursos económicos invertidos por el Estado mexicano para tratarlo. De manera directa (gastos hospitalarios) se invierten 4.5 billones de pesos, y de forma indirecta (incapacidades y pensiones) se destinan 33.3 billones de pesos (Ontiveros, Preciado, Matute, López-Cruz y López-Elizalde, 2014).

Existen muchas formas de clasificar un TCE (Houseman, Belverud y Narayan, 2012), entre las que destacan las clasificaciones por mecanismo, por gravedad y por morfología.

Clasificar por mecanismo implica hacer una distinción entre las lesiones *cerradas* o las lesiones *penetrantes* (Houseman *et al.*, 2012). Las lesiones del primer tipo corresponden a caídas o accidentes automovilísticos. Mientras que las lesiones penetrantes describen heridas provocadas por arma de fuego o punzocortantes.

La clasificación por gravedad se realiza con base en la *Escala de Coma de Glasgow*. Puntajes de 14 a 15 describen un *TCE leve*, de 9 a 13 describen un *TCE moderado*, mientras que puntajes de 8 o menos describen un *TCE grave* (Houseman *et al.*, 2012).

Finalmente, la clasificación por morfología permite conocer la evolución del TCE. En esta clasificación encontramos las fracturas de cráneo y las lesiones intracraneales y describen el tipo de lesión ósea, el escape del líquido céfalo-raquídeo, daño a los nervios, daño a las meninges y el daño a los axones en las neuronas (Houseman *et al.*, 2012).

Sin importar la clasificación de la lesión, en los primeros momentos después del TCE es posible encontrar problemas en la conciencia y amnesia post-traumática. Esta amnesia puede estar también acompañada por problemas en el ciclo vigilia-sueño, somnolencia en el día, agitación y problemas en la percepción. (Rabinowitz y Levin, 2014). Estos autores señalan que los TCE moderados y graves están asociados con problemas cognitivos más profundos y persistentes, involucrando procesos como la conciencia, razonamiento, lenguaje, procesamiento visoespacial e inteligencia.

A largo plazo, más de la mitad de los pacientes reportan problemas con el funcionamiento cognitivo (Whiteneck, Gerhart y Cusick, 2004). Estos problemas cognitivos afectan dominios como atención, memoria, velocidad de procesamiento y funcionamiento ejecutivo, dificultando así a la persona desempeñar sus roles y

actividades cotidianas como manejar, cocinar y utilizar dinero (Rabinowitz y Levin, 2014).

Con respecto a la rehabilitación de estos procesos, las tecnologías de realidad virtual asociadas a internet de banda ancha son un avance promisorio (Gamito *et al.*, 2011). La tecnología en realidad virtual provee la oportunidad de poner en práctica actividades de rehabilitación cognitiva y motora que usualmente no pueden llevarse a acabo en un ámbito clínico mediante la simulación de diversos escenarios cotidianos (Faria, Andrade, Soares y Badia, 2016).

Faria *et al.* (2016) también señalan que estos ambientes virtuales son diseñados para que puedan ser disfrutados con mayor medida que los métodos tradicionales de rehabilitación. Con esto, se puede lograr aumentar la motivación de los pacientes y conseguir un mayor número de repeticiones de los ejercicios.

Por lo anterior, el presente trabajo de investigación tiene por objetivo evaluar el efecto de una plataforma digital apoyada en realidad virtual diseñada por Gamito y colaboradores (2011) y adaptada al contexto mexicano para la rehabilitación de procesos como atención, memoria y funciones ejecutivas en pacientes con un diagnóstico de traumatismo cráneo-encefálico grave, con el fin de analizar la eficacia de estos nuevos métodos de intervención en México y contribuir aportando evidencia de las ventajas que tiene el uso de nuevas tecnologías de rehabilitación en el sector público y privado de nuestro país.

Para ello, se presentan los resultados de dos estudios de caso de pacientes masculinos de 29 años y 15 años de escolaridad que sufrieron un TCE grave. Mostraron interés en el tratamiento tras una campaña de difusión en hospitales públicos de la Ciudad de México y redes sociales. Se realizaron varias evaluaciones neuropsicológicas a manera de *pre-test* analizando dominios como atención, memoria y funciones ejecutivas, así como evaluaciones psicológicas de depresión e impulsividad. Posteriormente, recibieron sesiones de rehabilitación haciendo uso de realidad virtual con la versión mexicana de la Bateria Sistemica de Lisboa (Gamito *et al.*, 2011) y evaluaciones *post-test*.

## CAPÍTULO 1

### TRAUMATISMO CRÁNEO-ENCEFÁLICO.

Los traumatismos cráneo-encefálicos forman parte del espectro conocido como lesiones cerebrales adquiridas y refieren a heridas sufridas por el encéfalo por la acción de una fuerza externa, que deriva en problemas de funcionamiento cognitivo, motor, afectivo, conductual y/o social. Estos efectos pueden ser tanto transitorios como duraderos o incluso permanentes, dependiendo de las condiciones particulares de la herida o de la gravedad (Roebuck-Spencer y Cernich, 2014).

Estas heridas que sufre el cerebro son usualmente definidas como una manifestación de alteración en la conciencia, yendo desde la confusión y el mareo hasta el coma (Roebuck-Spencer y Cernich, 2014).

Se considera a los TCE como una “epidemia silenciosa” (Srivastava y Cox, 2018) debido a que es uno de los problemas de salud pública más serios y que involucran un alto costo socioeconómico. De acuerdo con los datos recolectados por estos autores, estos traumatismos representan una de las mayores causas de muerte y discapacidad con más de 50 millones de casos cada año a nivel mundial.

Después de un daño en el encéfalo, ocurren muchos eventos y modificaciones, y son estos procesos los que determinan el grado de afección existente. Podemos encontrar daños debidos a excitotoxicidad, radicales libres, muerte celular, inflamación, entre otros (Bramlett y Dietrich, 2015).

Derivados de estos procesos neurofisiológicos, encontramos manifestaciones de daño en áreas cognitivas como lo son: funciones ejecutivas (Karr, Areshenkoff y García-Barrera, 2014), memoria (Wolf y Koch, 2016), atención y demás dominios afectados por desconexión de redes neuronales (Fagerholm, Hellyer, Scott, Leech y Sharp, 2015; Sharp, Scott y Leech, 2014).

### **1.1 Consideraciones epidemiológicas.**

Los TCE son un problema masivo de carácter mundial que anualmente causan muerte y discapacidad a millones de personas (Timmons, 2018). Los grupos poblacionales con mayor riesgo de sufrirlos son los infantes menores a dos años, adolescentes y adultos entre 15 y 45 años, y adultos mayores a 75 años, siendo los hombres tres veces más propensos que las mujeres a sufrirlos (Williams, 2018).

Es estimado que, a nivel mundial, cada año 69 millones de personas sufrirán un traumatismo cráneo-encefálico, con un carácter leve y moderado representando un 81% de la cifra (Dewan *et al.*, 2018). En México, los TCE son la cuarta causa de muerte y tienen una mortalidad de 38.8 casos por cada 100,000 habitantes (Carrillo y Meza, 2015).

### **1.2 Consideraciones etiológicas.**

Dentro de todas las manifestaciones de los TCE, a nivel mundial las caídas son la causa primaria de éstos, después se encuentran los accidentes de tráfico, seguidos por asaltos y robos (Crandall, 2011). En México los accidentes de tráfico son la causa más común de los TCE (Carrillo-Esper y Meza-Márquez, 2015) afectando a jóvenes menores de 23 años y personas manejando bajo los influjos del alcohol.

### **1.3 Fisiopatología.**

Aunque de lo anterior se refleja una gran heterogeneidad dentro de las manifestaciones de un traumatismo cráneo-encefálico, hay un perfil predominante que sugiere vulnerabilidad en ciertas regiones (Rabinowitz y Levin, 2013). Estos autores señalan que daño focal en el tejido cerebral y estructuras vasculares puede ocurrir en áreas frontales y temporales, cuyas redes neuronales se asocian a procesos ejecutivos (Otero y Barker, 2014) y de algunas manifestaciones de

memoria (Henke, 2010), ya que el tejido está adyacente a estructuras óseas y protuberancias.

La manifestación de síntomas de los TCE consiste en una combinación de elementos físicos y neuropsiquiátricos, incluyendo trastornos conductuales y cognitivos (Lozano *et al.*, 2015). De acuerdo a lo reportado por Lozano *et al.* (2015), los síntomas más frecuentes son cefaleas, mareo y náuseas, mientras que los síntomas cognitivos incluyen deficiencias en atención, memoria y funciones ejecutivas.

### 1.3.1 Clasificación de los traumatismos cráneo-encefálicos.

Pese a las diferentes maneras exigentes de realizar clasificaciones para estudiar y evaluar los TCE, las formas más utilizadas hacen referencia a: mecanismos, gravedad y morfología (Houseman *et al.*, 2015).

La clasificación por mecanismos describe los tipos de herida, que pueden ser (O'Phelan, 2016):

- **Cerrada:** Debido a una fuerza directa que actúa en la cabeza, como aceleración, desaceleración o rotación. Causantes de estas heridas pueden ser caídas, asaltos o colisiones vehiculares.
- **Explosión:** Estas heridas surgen por la presión ejercida por las ondas derivadas de explosivos. Una gran cantidad de energía es dirigida hacia el cerebro, y pueden dañarse estructuras como la barrera hemato-encefálica y la unión de sustancia gris y sustancia blanca.
- **Herida penetrante:** Inducidas por un objeto que penetra la bóveda craneal (disparos, metralla o cuchillos).

El segundo sistema de clasificación utilizado busca determinar la gravedad o el impacto que tuvo el traumatismo sobre los estados funcionales del individuo (Srivastava y Cox, 2018) y comúnmente toma como referencia puntajes obtenidos en la Escala de Coma de Glasgow.

La Escala de Coma de Glasgow es una medida que indica el grado de conciencia de una persona y puntúa las siguientes áreas en respuesta a estímulos: apertura ocular, verbalización y respuesta motora.

Los puntajes derivados de esta escala varían entre tres (3) y quince (15). Un puntaje de tres indica que no existe respuesta en todas las áreas de medición, mientras que 15 indica una respuesta total. Normalmente, los individuos con un puntaje igual o menor a ocho (8) categorizan como **TCE grave**, individuos con un puntaje entre nueve (9) y doce (12) presentan un **TCE moderado** y finalmente los individuos con un puntaje igual o mayor a trece (13) presentan un **TCE leve** (Roebuck-Spencer y Cernich, 2014).

La Escala Glasgow continúa siendo la escala de evaluación más utilizada para determinar la gravedad, pero es susceptible a ser sesgada por factores como sedación, parálisis o heridas previas (Hawryluk y Manley, 2015).

Finalmente, hablar de clasificación morfológica implicar hacer uso de técnicas de imagen cerebral para determinar las características físicas del daño sobre el encéfalo (Houseman *et al.*, 2015). En esta clasificación se encuentran las fracturas de cráneo en todas sus manifestaciones y las lesiones intracraneales, que pueden ser focales o difusas.

Las lesiones focales son heridas específicas encontradas en una región particular del cráneo o del encéfalo. Es importante señalar que una fractura en el cráneo no es indicativo de daño cerebral, así como el daño cerebral puede estar presente sin una manifestación en la integridad ósea del cráneo (Gennarelli y Graham, 2005).

Las heridas difusas, por otra parte, describen un grado mayor de patologías. Algunas de ellas, derivadas de un TCE, son resultantes de fuerzas de aceleración y desaceleración sobre la materia blanca. Éstas están distribuidas ampliamente por el sistema nervioso, y suelen causar daño a la integridad de las redes neurales del cerebro (Gennarelli y Graham, 2005).

Es importante notar que estas clasificaciones no son mutuamente excluyentes, pues describen diferentes medidas de daño dentro de una misma condición. Un paciente, en especial con una condición grave, puede manifestar heridas tanto focales como difusas (Díaz-Arrastia y Vos, 2015). Por lo tanto, determinar las características de la lesión dentro de los marcos de cada clasificación puede ayudar a formar un panorama patológico-anatómico que permita concentrar mejor los esfuerzos de diagnóstico y direcciones de rehabilitación.

### **1.3.2 Mecanismos del Traumatismo Cráneo-encefálico.**

Los cambios estructurales derivados de un traumatismo cráneo-encefálico son una base para el proceso de recuperación, y un factor a considerar para otras condiciones relacionadas al envejecimiento de la víctima (Ashley, Ripley, Griesbach y Ashley, 2017).

La repercusión inicial es una primera herida provocada por el daño mecánico producido por la destrucción o estiramiento de neuronas, axones, células gliales o vasos sanguíneos (Lozano *et al.*, 2015) y puede ser de carácter focal o difuso. En la gran mayoría de los casos, las heridas primarias resultan directamente en pérdidas neuronales y muerte celular por necrosis.

Después de los fenómenos mecánicos, ocurre una cascada de procesos bioquímicos con cambios celulares y metabólicos (Lozano *et al.*, 2015). El estrés ejercido por las fuerzas mecánicas afecta la membrana de cada tipo de célula encontrada en el sistema nervioso y resulta en un desequilibrio en los procesos de homeostasis de las mismas. Si este estado de equilibrio no es reinstalado, se presentará una cascada bioquímica (Maxwell, 2015).

Esta cascada bioquímica suele comenzar con una liberación excesiva de glutamato incluso minutos después del evento traumático (McGinn y Povlishock, 2016), derivado de la despolarización de las neuronas pre-sinápticas, daños en las membranas de las mismas o problemas en la barrera hemato-encefálica.

Después de esta liberación aguda de glutamato, grandes cantidades de potasio en el espacio extracelular y varios iones de sodio y calcio entran a las neuronas, lo cual modificará el potencial eléctrico de la membrana celular (McGinn y Povlishock, 2016).

Para restaurar este potencial, la bomba sodio-potasio estará activa mucho más tiempo, lo que demandará grandes cantidades de adenosín trifosfato (ATP) aumentando el metabolismo de glucosa en el sistema nervioso (Giza y Hovda, 2001).

Debido a este mecanismo hiperactivado, una crisis energética se desatará ya que el cerebro presenta una deficiencia en el suministro sanguíneo, pero estará demandando, a su vez, una mayor cantidad de nutrientes. Esta disparidad provocará que el encéfalo responda inadecuadamente a una segunda herida y potencialmente aumentando la gravedad de las consecuencias (Giza y Hovda, 2001).

En particular, el aumento en las concentraciones de calcio intracelular inducirá daño en las neuronas por la acción de diferentes mecanismos que conducen a la muerte celular (McGinn y Povlishock, 2016):

- Generación de radicales libres.
- Daños en la permeabilidad de la mitocondria.
- Activación de proteasas (enzimas que rompen enlaces químicos en las proteínas).

Estos sucesos, en secuencia pueden ser reversibles actuando a tiempo, de lo contrario, las perturbaciones en el metabolismo y en la mitocondria provocarán una falla energética y la activación de procesos de apoptosis y necrosis (Jalloh *et al.*, 2015).

Esta cascada producirá cambios en los potenciales eléctricos de otras células circundantes. Esto producirá una degeneración en los axones de las neuronas y pondrá en riesgo la integridad de las redes de comunicación. La

coordinación e integración de la información se perderá y se producirá daño en la integración funcional de redes cognitivas y neurales (Maxwell, 2015).

#### **1.4 Evaluación, diagnóstico y pronóstico de los traumatismos cráneo-encefálicos.**

La Escala de Coma de Glasgow ha sido una medida clave para la evaluación después de una herida en la cabeza, y la clasificación del daño por gravedad aún está basada en ella (Balestreri *et al.*, 2004).

Algunos autores proponen que, junto a la escala de coma de Glasgow, se tomen a consideración más elementos como: ritmos circadianos y herramientas diagnósticas adicionales (Yue *et al.*, 2017), y considerar los resultados por categorías separadas para evitar la pérdida de información (Reith *et al.*, 2017).

Esta escala es también un factor pronóstico del traumatismo cráneo-encefálico y puede determinar estrategias de tratamiento para cada grado de traumatismo (Lu *et al.*, 2015).

##### **1.4.1 Traumatismo cráneo-encefálico leve.**

Un puntaje de trece (13) o más en la escala Glasgow, después de un accidente con daño en la cabeza, señala un traumatismo cráneo-encefálico leve (Roebuck-Spencer y Cernich, 2014).

Entre 100 y 300 personas por cada 100.000 individuos buscan atención médica por traumatismos cráneo-encefálicos leves, siendo deportistas, personal militar y víctimas de violencia doméstica las personas más propensas a presentar cuadros de esta índole y traumas repetitivos en la cabeza (Gardner y Yaffe, 2015).

Los síntomas presentados después del evento son de carácter somático (dolores de cabeza, mareo), cognitivos (deficiencias en atención y memoria) y emocionales (irritabilidad y depresión) que normalmente se resuelven alrededor de doce semanas subsecuentes al mismo (Levin y Diaz-Arrastia, 2015).

En ocasiones, debido a que los síntomas pueden ser muy leves o estar ausentes, muchos traumatismos no son atendidos y sus consecuencias pueden ser más graves. Estos traumatismos presentan un riesgo de un 10% para anomalías intracraneales como contusiones, hematomas, inflamaciones o hemorragias. El manejo primario de este tipo de lesiones es de carácter médico y busca controlar todos los parámetros que puedan empeorar la patología cerebral (Vos *et al.*, 2012).

De acuerdo con Gardner y Yaffe (2015), la mayoría de los estudios que evalúan los riesgos subsecuentes a un traumatismo cráneo-encefálico se enfocan en TCE moderados y graves, pero existe asociaciones entre los TCE de carácter leve y un riesgo incrementado de demencia después de cinco o siete años del accidente en población mayor a 65 años, mientras que en adultos jóvenes no se ha encontrado esta relación.

#### **1.4.2 Traumatismo cráneo-encefálico moderado.**

De acuerdo con la clasificación determinada por la Escala de Coma de Glasgow, un TCE moderado es aquel que manifiesta un puntaje de entre nueve (9) y doce (12) puntos (Roebuck-Spencer y Cernich, 2014).

De forma consistente, los pacientes cuyas lesiones caen en la categoría moderada, presentan más síntomas que una pérdida de conciencia, se estima que un 66% de ellos presentará problemas en el funcionamiento cerebral (Ito, Asano, Ikegame y Shinoda, 2016).

Alrededor del 15% de las personas que presentan un TCE moderado morirán poco tiempo después del accidente, mientras que más del 50% de los sobrevivientes mostrarán deficiencias psicológicas y cognitivas como son: problemas de personalidad, conducta, dolores de cabeza y trastornos de la memoria (Godoy, Rubiano, Rabinstein, Bullock y Sahuquillo, 2016). Estos problemas interferirán con la vida cotidiana e impactarán esferas sociales como la familia, la pareja, las relaciones con pares y el ámbito laboral, especialmente

derivado de problemas por cambios de conducta y afectividad (Cáceres Rodríguez, Montoya Camargo y Ruiz Hurtado, 2003).

Debido a que los TCE de carácter moderado son una entidad muy heterogénea con diferentes mecanismos de lesión, fisiopatología y neuropatología, muchas propuestas han surgido para usar los términos “moderado” y “graves” como una entidad única en el traumatismo cráneo-encefálico (Godoy *et al.*, 2016).

#### **1.4.3 Traumatismo cráneo-encefálico grave.**

Al final del espectro de los traumatismos cráneo-encefálicos evaluados con base en la gravedad reflejada por la Escala de Coma de Glasgow, se ubican los TCE graves. Estos traumatismos corresponden a un puntaje que va de ocho (8) a tres (3) y en los cuales el paciente puede transitar por una serie de estados como: coma, estado vegetativo, estados mínimos de conciencia, estados de confusión y recuperación (Griffen y Hanks, 2014).

Los TCE graves tienen un índice de mortalidad del 35%, cifra que se ha mantenido estable en la última década (Stein, Georgoff, Meghan, Mizra y Sonnad, 2010). Entre los síntomas más comunes en esta condición para los sobrevivientes, se encuentran problemas de irritabilidad y reactividad, mareo, deficiencias en atención, aprendizaje y memoria. Estas deficiencias pueden presentarse incluso seis meses o más tiempo después de la lesión, con efectos residuales dos años post-lesión y daños en la funcionalidad del individuo de tres a cinco años después del evento. (Griffen y Hanks, 2014).

#### **1.4.4 Consideraciones acerca de la clasificación por gravedad.**

Existe también un grupo particular de pacientes conocido como “pacientes *talk and die*” (Reilly, 1975, en Godoy *et al.*, 2016). Estos pacientes tuvieron heridas en la cabeza, pero presentaron un puntaje de tres o más en el componente verbal de la ECG. Todas sus manifestaciones clínicas apuntaban hacia un pronóstico favorable después del accidente. No obstante, con el paso del tiempo fueron deteriorando y murieron.

Estos pacientes pueden clasificarse dentro de la categoría de un traumatismo moderado (Godoy *et al.*, 2016). De acuerdo con Godoy y su equipo (2016) la principal causa de muerte en estos pacientes es la falta de cuidados, derivada posiblemente de un mal diagnóstico provisto por la Escala de Coma de Glasgow.

Fenómenos como este han puesto a debate el uso de la Escala como indicador para la evaluación de la gravedad de un traumatismo craneo-encefálico. Como indicador para clasificaciones epidemiológicas y de primer contacto cumple muy bien su función, por lo cual sigue siendo una valiosa herramienta de distinción, incluso cuarenta años después de su desarrollo (Teasdale *et al.*, 2014). No obstante, lograr aprehender en una clasificación la complejidad y gravedad de un TCE requiere de una aproximación multidimensional (Teasdale *et al.*, 2014).

Esfuerzos para lograr este propósito se han propuesto en los últimos años (Lancet Neurology, 2013). Yue y su equipo de colaboradores (2013), en un esfuerzo internacional, proponen una recolección de datos de cada paciente haciendo énfasis en características demográficas, genéticas, biomarcadores, neuroimagen y baterías de evaluación de la evolución de un TCE para generar mejores modelos de investigación y crear perfiles más exactos acerca de las características particulares de las consecuencias de este tipo de lesiones.

## CAPÍTULO 2

### CONSIDERACIONES NEUROPSICOLÓGICAS.

El desempeño neuropsicológico de la persona es una función de la gravedad de la herida presentada. Las deficiencias cognitivas más pronunciadas serán consecuencia de heridas más graves (Griffen y Hanks, 2014). Todas las complicaciones en la cognición, derivadas de un TCE, interferirán con el trabajo, las relaciones, pasatiempos y actividades cotidianas de una persona (Rabinowitz y Levin, 2014).

Las mayores afecciones presentadas en los traumatismos craneo-encefálicos de carácter leve incluyen procesos de memoria de trabajo (Dikmen *et al.*, 2009), memoria, atención, velocidad de procesamiento y funciones ejecutivas, y normalmente se resuelven entre los tres y seis meses después del accidente; los traumatismos de carácter moderado y grave, por su parte, se asocian con deficiencias más pronunciadas en los mismos procesos, con dificultades en comunicación, procesamiento viso-espacial, habilidades intelectuales y la conciencia propia de las deficiencias (Rabinowitz y Levin, 2014) y tienen un impacto mayor y más persistente sobre el funcionamiento cognitivo general (Schretlen y Shapiro, 2009).

#### **2.1 Neuropsicología de la atención.**

El constructo “atención” es utilizado para dar cuenta de una gran cantidad de fenómenos conductuales. Lejos de ser un proceso de carácter singular, este término hace referencia a una serie de procesos conductuales y cognitivos que producen efectos discernibles y que está compuesto por elementos más pequeños (Cohen, Sparling-Cohen y O’Donnell, 1993).

Los procesos de atención pueden permitir a un individuo reducir la cantidad de información que recibirá un procesamiento adicional por parte del cerebro, y también es un proceso capaz de permitir que grandes cantidades de información sean procesadas por el sistema nervioso (Cohen *et al.*, 1993). Por lo tanto, este

conjunto de acciones cobijadas bajo el término “atención”, permiten al organismo vivo manipular la información que se encuentra en el ambiente de acuerdo con necesidades particulares. En palabras de Cohen *et al.*, “la atención actúa como una puerta para el flujo de información hacia el cerebro” (p. 3, 1993).

Al actuar como un facilitador o constrictor del flujo de información, la atención es una priorización selectiva de representaciones neurales que son las más relevantes para las metas conductuales. Este acto es necesario porque el cerebro es un sistema con una capacidad limitada de información (Buschman y Kastner, 2015).

Normalmente, en el estudio de la atención, se distinguen los conceptos “*top-down*” y “*bottom-up*”. El primero hace referencia a un control voluntario de la atención, y el segundo refiere a lo que provocan las características de un estímulo para captar la atención del organismo. Los procesos *top-down* están mediados por redes neurales influidas por la *corteza frontal*, mientras que los procesos *bottom-up* requieren de conexiones en las *cortezas sensoriales* del sistema nervioso central (Buschman y Miller, 2007).

Para el estudio de la atención visual en seres humanos dos paradigmas han sido los más utilizados: orientación visoespacial y búsqueda visual (Buschman y Kastner, 2015).

En el primer paradigma los participantes en los experimentos deben dirigir su atención a un lugar en particular tras la indicación de una pista, y deben detectar o discriminar un estímulo particular. Las personas, entonces, suelen responder más rápido y con mayor precisión cuando el estímulo aparece en la localización señalada por la pista, que en otras ubicaciones.

En las tareas de búsqueda, más relacionadas a la experiencia cotidiana (Buschman y Kastner, 2015), las personas deben encontrar un objetivo particular dentro de un conjunto de estímulos. Este estímulo presentará similitudes en su composición a los otros del conjunto (por ejemplo, encontrar una “B” roja en un

conjunto de “B” rosas). El desempeño en esta tarea se ve afectado por cuantas características el estímulo meta comparte con los demás estímulos del conjunto.

Por otra parte, Peelen y Kastner (2014) señalan que en ambientes naturales, el desempeño atencional de las personas sería altamente ineficiente debido a la gran cantidad de distractores que existen en los ambientes naturales. No obstante, el resultado no es así, las personas pueden desempeñarse con éxito en estas tareas.

Estos autores lo atribuyen a que los objetos en la cotidianeidad normalmente son objetos con alta familiaridad, existe gran cantidad de regularidad en los distractores, el contexto provee información acerca de la ubicación del objetivo y los organismos reciben influencia de experiencias previas con las escenas, y colocan estos procesamientos en las áreas de mayor nivel de la corteza visual en el cerebro (Peelen y Kastner, 2014).

Peelen y Kastner (2014), con base en patrones peculiares de activación neuronal en las tareas de búsqueda e identificación de estímulos dentro de los procesos atencionales, hacen referencia a plantillas y redes “dónde” y “qué”.

Las redes codificantes al “dónde” del estímulo están relacionadas con la red dorsal de atención (Vossel, Geng y Fink, 2014). Dentro de esta red se ubican estructuras como el *surco intraparietal* y los *campos oculares frontales* de cada hemisferio cerebral. A las conexiones neurales en estas áreas se les atribuye la formulación de mapas acerca del espacio circundante.

Con respecto a la red codificante al “qué”, encontramos conexiones de carácter ventral. Esta red ventral comprende estructuras como la *unión temporoparietal* y la *corteza frontal ventral* y los nodos en estas áreas suelen responder cuando un estímulo relevante ocurre de forma inesperada (Vossel *et al.*, 2014).

De acuerdo a Vossel *et al.*, (2014), “las redes dorsales y ventrales son sistemas corticales anatómicamente separados con nodos funcionalmente

especializados que promueven procesos específicos en el control atencional.” (p. 3).

Importante es considerar que estas redes trabajan en conjunto para promover procesos atencionales en concreto, y el control de la atención no puede ser atribuido a un sistema aislado. En ocasiones ambas redes de neuronas reciben activación, y en ocasiones (como la búsqueda visual) la activación de una provoca la desactivación de la otra, demostrando el acoplamiento flexible y dinámico de ambas redes para cubrir las demandas cognitivas. Esta interacción está mediada por el giro frontal inferior y medio (Vossel *et al.*, 2014).

### **2.1.1 Afeción de los procesos atencionales en los TCE.**

Deficiencias en los procesos atencionales son consecuencias comunes e incapacitantes entre los pacientes con traumatismo cráneo-encefálico, manifestándose como disminución en la velocidad de procesamiento, dificultades ignorando distractores, mantener concentración por períodos largos de tiempo, y prestar atención a más de un estímulo a la vez (Dymowski, Owens, Ponsford y Willmott, 2015).

Dymowski *et al.* (2015) proponen dos formas mediante las cuales los TCE producen daño en redes neurales con consecuencias sobre los procesos de atención: por daño directo en áreas estratégicas en el control de la atención, y por daño que produce desconexiones entre neuronas e interrumpe procesos neuroquímicos que regulan estas redes atencionales.

La desconexión en la comunicación neuronal, provocada por las heridas axonales difusas, es fundamental para comprender el desarrollo de deficiencias atencionales (Bonnelle *et al.*, 2011).

De acuerdo a un trabajo realizado por Bonnelle *et al.* (2011) los problemas en la atención sostenida, la capacidad para mantenerse enfocado en tareas cotidianas, sin importar su condición de monótonas o demandantes (Seli, Cheyne, Barton y Smilek, 2012), se asocian con un incremento en la actividad de regiones

cerebrales donde existe una alta correlación entre la actividad cerebral y las demandas metabólicas en reposo (redes neuronales por defecto).

Las redes neuronales por defecto son consideradas un contrapunto involucrado en el control cognitivo. Su interacción es importante para regular el foco de la atención y coordinar un balance entre el pensamiento dirigido interno y externo (Bonnelle *et al.*, 2011).

La habilidad para regular estas redes parece ser un componente central para el funcionamiento cerebral normal (Bonnelle *et al.*, 2011). Estos autores muestran que los problemas en atención sostenida después de un TCE están asociados con un incremento en la actividad de las redes neuronales por defecto.

Bonnelle y su equipo (2012) lo atribuyen a que una mayor carga cognitiva en pacientes afectados, al inicio de una tarea, puede resultar en un decremento de la capacidad en la atención a lo largo del tiempo debido a fatiga mental. Esto produciría un decremento en la vigilancia, ya que los recursos de la atención se encontrarían agotados por un sobreuso.

Otra disfunción reportada por pacientes con TCE son problemas en la atención dividida (Toyokura, Nishimura, Akutsu, Mizuno y Watanabe, 2012). Esta función cognitiva involucra la división de procesos cognitivos controlados que involucran dos o más tareas discretas o una tarea que comprende subtareas.

En tareas diseñadas para evaluar este constructo, Toyokura *et al.* (2012) encontraron que sus pacientes se desempeñaban incluso mejor que pacientes sanos en las mismas pruebas neuropsicológicas. Al principio, estos pacientes no tuvieron problemas para reintegrarse a sus ambientes cotidianos o cumplir con sus exigencias laborales, pero con el paso del tiempo las deficiencias en su trabajo sugerían problemas en atención dividida.

Desarrollando una prueba dual, Toyokura y su equipo (2012) encontraron que los tiempos de respuesta de sus pacientes con TCE fueron más lentos cuando se añadió una tarea extra al procedimiento. Sugiriendo que la atención estaba limitada en capacidad y en procesos de cálculo.

Debido a que muchas pruebas no son lo suficientemente sensibles a este constructo, evaluar la memoria de trabajo resulta fundamental para entender estas deficiencias, ya que se piensa involucrada en los problemas de atención dividida (Toyokura *et al.*, 2012). Por lo tanto, es fundamental considerar los procesos cognitivos dentro de una totalidad, y entender cómo, en este caso, la atención interactúa con otras dimensiones neuropsicológicas para cubrir de manera fructífera o infructífera las demandas del entorno, ya que las deficiencias pueden existir incluso cuando las pruebas de evaluación sitúen a los pacientes dentro de rangos normales.

## **2.2 Neuropsicología de la memoria.**

La memoria no puede ser entendida como un proceso unitario, o como algo que cumple con una única función. Para desempeñarse correctamente y sobrevivir día con día, los animales no-humanos y humanos requieren de diversos procesos que sean parcialmente independientes, y que sean mediados por diferentes redes neuronales. Entre estos procesos se incluyen la memoria procedimental, la memoria episódica, la memoria semántica y otras manifestaciones de memoria. En lo cotidiano, estos sistemas operan normalmente en paralelo y compensándose unos a otros hasta cierto punto en caso de daño (Henke, 2010).

La experiencia humana requiere la codificación de relaciones en tiempo, espacio y contenido y, al asociarse, estas codificaciones dan lugar a la memoria. La actividad química que da origen al aprendizaje asociativo, y a la consolidación de esta memoria, cambia la estructura y operación de redes neuronales, en especial en la sinapsis. Estos cambios son el pilar fundamental de la memoria asociativa. (Sun, Nelson y Alskon, 2015).

Muchas redes neuronales que influyen en diferentes tipos de memoria convergen en el hipocampo, uniendo la información para dar lugar a la memoria asociativa y uniendo módulos corticales durante la recuperación de recuerdos. Disfunciones sinápticas en el hipocampo, por lo tanto, han sido asociadas con diversos tipos de deficiencia en memoria (Sun *et al.*, 2015).

Las múltiples formas de la memoria se colocan de manifiesto en personas con dificultades en tareas particulares (Postle, 2016). Por ejemplo, una persona puede tener dificultades para recordar elementos (fechas, nombres, números, etc.) después de un accidente, pero puede recordar todo lo que ocurre antes. A esto le conocemos como amnesia anterógrada. No obstante, puede ocurrir que una persona pueda tener dificultades para evocar eventos, pero no olvida cómo realizar las actividades motoras que ha aprendido a lo largo de su vida, como utilizar una bicicleta. A esta última forma de memoria, le llamamos memoria de procedimiento (Redondo y Morris, 2011).

La memoria de procedimiento forma parte de un espectro conocido como memoria no declarativa (Dickerson y Eichenbaum, 2010). El aprendizaje que da lugar a esta forma de memoria depende de sistemas cortico-estriatales y resulta afectado en trastornos como la enfermedad de Parkinson o la corea de Huntington. Otra manifestación de la memoria no declarativa tiene que ver con las asociaciones entre un estímulo y una experiencia no placentera; este sistema de memoria depende de estructuras corticales y sub-corticales que interactúan con la amígdala (Dickerson y Eichenbaum, 2010). Alteraciones en este sistema derivan en fobias, trastornos de pánico y otras condiciones neuropsiquiátricas.

De acuerdo con Henke (2010) la codificación de la información para estos sistemas se lleva a cabo de una forma lenta, pero las asociaciones formadas son de carácter rígido. Múltiples repeticiones de los procesos de aprendizaje involucran actividad celular en los ganglios basales, el cerebelo, giro parahipocámpal y la neocórtex.

Los procesos de memoria que usualmente se conocen o se tienen más presentes, caen dentro de la categoría de memoria declarativa. Aquí se ubica la memoria semántica y la memoria episódica (Dickerson y Eichenbaum, 2010). La memoria semántica involucra eventos históricos, características de los objetos, categorías, etc.; mientras que la memoria episódica involucra la habilidad para aprender, almacenar y recuperar información acerca de experiencias personales

que ocurren en la vida. Usualmente refiere al tiempo o lugar de un evento, e información detallada acerca del mismo.

Para que estas asociaciones se formen, se requiere de un proceso único de codificación, y permite la formación de representaciones de eventos y de características espaciales en la memoria. Fundamentalmente, depende de estructuras como el hipocampo y la neocorteza (Henke, 2010).

Es importante que las redes de neuronas de estas dos últimas estructuras interactúen entre sí para poder lograr la consolidación de la información (Redondo y Morris, 2011). Estos autores señalan que la persistencia de la potencia en la sinapsis (la comunicación entre neuronas) es fundamental para la persistencia de la memoria. La activación de neuronas glutamatérgicas da lugar a diferentes mecanismos de comunicación intracelular para promover la síntesis de proteínas.

Estas proteínas alterarán la sinapsis a niveles químicos y estructurales, aumentando la fuerza en la misma. Al estabilizarse, la sinapsis mantendrá su fuerza por largos períodos de tiempo, dando lugar a la consolidación de memorias a largo plazo (Redondo y Morris, 2011).

Debido a que los procesos de memoria se encuentran en redes neuronales ubicadas en muchas estructuras cerebrales conectadas entre sí (Henke, 2010), el daño a los axones que comunican estas neuronas puede producir deficiencias en estos procesos. Los problemas en la memoria después de un traumatismo craneo-encefálico, que interrumpe la transmisión de información entre estas redes, pueden deberse a fallas en la comunicación dentro y entre regiones cerebrales como resultado de daño axonal (Wolf y Koch, 2016).

### **2.2.1 Afección de los procesos de memoria en los TCE.**

Uno de los problemas más frecuentes que derivan de un traumatismo craneo-encefálico es la amnesia post-traumática. Esta se manifiesta con amnesia anterógrada, confusión y desorientación (De Simoni *et al.*, 2016). La incapacidad para codificar la información nueva, junto a los problemas atencionales que

existen en los TCE, son el fundamento de la amnesia post-traumática, y puede durar desde segundos hasta meses (De Simoni *et al.*, 2016).

Analizando el estado de las redes neuronales en pacientes con traumatismo cráneo-encefálico, De Simoni y sus colaboradores (2016) descubrieron que problemas en la memoria asociativa, en pacientes con amnesia post-traumática, se acompañan con problemas en la velocidad de procesamiento y memoria de trabajo; las conexiones entre regiones circundantes al hipocampo y la corteza de cíngulo; y el grado de interrupción en la conexión estructural y funcional correlaciona con el daño en memoria episódica y la velocidad de procesamiento.

Continuando con su exposición, señalan que la normalización de las afecciones fisiológicas en el sistema nervioso correlaciona con la resolución de las deficiencias cognitivas; y que los cambios entre redes frontales y parietales, y las redes ejecutivas de control, demuestran una interrupción en la conectividad involucrada en todas las funciones cognitivas (De Simoni *et al.*, 2016).

Otro estudio analizó el desempeño en tareas que requieren la puesta en marcha de memoria episódica en 92 personas un mes y doce meses después de un TCE. Los investigadores hallaron que personas con TCE leve tenían problemas para aprender nueva información, y esto no varió en el tiempo, concluyendo que los problemas en memoria episódica son característicos en este tipo de TCE (Tayim, Flashman, Wright, Roth y McAllister, 2016). Los autores sugieren que los problemas para evocar la información surgen por dificultades en la codificación de la misma al momento de adquirir nueva información.

Los pacientes con TCE que presentan amnesia y un daño en el hipocampo no tienen dificultades únicamente evocando recuerdos de un tiempo pasado, sino también proyectando hacia adelante para simular escenarios nuevos y específicos. Algunos otros sobrevivientes de TCE presentan dificultades para “viajar” en el tiempo, fallando en recordar eventos específicos de su pasado y presentando dificultades para imaginar el futuro (Yan, Feng y Wang, 2016).

Otro de los procesos de memoria declarativa afectada en los TCE es la memoria prospectiva (entendida como la habilidad para recordar hacer algo en el futuro). Este proceso depende de la interacción entre redes neuronales en el lóbulo temporal con regiones pre-frontales y la coactivación de redes parietales (Bedard, Taler y Steffener, 2018).

Rabinowitz y Levin (2014) proponen que, a diferencia de otros trastornos de amnesia, los problemas de memoria en los TCE no se deben usualmente a deficiencias en el almacenamiento de información, sino en la organización de la información para una codificación y evocación exitosa.

Muchas son las redes neuronales implicadas en los procesos de memoria, y varias de estas redes también están involucradas en procesos como la planeación, la recuperación de la información y el auto-monitoreo, procesos pertenecientes al dominio de las funciones ejecutivas y que también pueden verse afectadas en un TCE (Rabinowitz y Levin, 2014).

### **2.3 Neuropsicología de las funciones ejecutivas.**

El término “funciones ejecutivas” (FE) refiere a una amplia gama de procesos mentales de control voluntario que se requieren cuando la concentración y el prestar atención se vuelven necesarios ya que actuar de forma automática resulta ineficiente para completar con éxito la tarea que se está desempeñando (Diamond, 2013).

De acuerdo a Diamond (2013) existen tres FE fundamentales: inhibición (control inhibitorio, auto-control y control de la interferencia), memoria de trabajo, y flexibilidad cognitiva. A partir de éstas, se construyen otras de orden superior como el razonamiento, la solución de problemas y la planeación. Elementos que, a su vez, forman parte de otros sistemas, como la memoria prospectiva (Bedard, Taler y Steffener, 2018).

La inhibición refiere a la habilidad para detener y/o impedir la puesta en marcha de respuestas dominantes y automáticas cuando es necesario; por otra parte, la memoria de trabajo describe un sistema que permite mantener la

información en un estado activo y de rápida recuperación; finalmente, la flexibilidad cognitiva es conocida también como cambio de tareas, y es el proceso que permite estar intercalando múltiples tareas o procesos mentales (Hofmann, Schmeichel y Baddeley, 2012). Miyake, Friedman, Emerson, Witzki y Howerter (2000), señalan que las características de las funciones fundamentales señaladas con anterioridad son claramente distinguibles, pero comparten mecanismos comunes entre ellos.

Las funciones ejecutivas, aunque usualmente referidas como funciones de lóbulo frontal (Stuss, 2011), no sólo dependen de redes neuronales dentro de esta estructura, sino también de otras zonas posteriores, corticales y subcorticales (Bettcher *et al.*, 2016).

Dentro del lóbulo frontal, estructuras como la corteza pre-frontal dorsolateral derecha juegan un papel importante en tareas de flexibilidad cognitiva e inhibición, mientras que redes neurales en la corteza pre-frontal ventrolateral derecha se activan durante tareas que requieren memoria de trabajo (Burzynska *et al.*, 2012).

Las contribuciones del lóbulo pre-frontal no son únicas al desempeño ejecutivo, éste es parte de una red neuronal que conecta con estructuras parietales (Bettcher *et al.*, 2016), estructuras sub-corticales como el cuerpo calloso (Smolker, Friedman, Hewitt y Banich, 2018), ganglios basales, cerebelo y tálamo (Bostan y Strick, 2018). Todas estas interacciones prueban que las funciones ejecutivas son resultado de una compleja interacción de redes que van más allá de las partes frontales del sistema nervioso.

### **2.3.1 Afección de las funciones ejecutivas en los TCE.**

Existe una gran cantidad de definiciones y componentes que se hipotetiza forman parte del sistema ejecutivo, dificultando el consenso acerca de lo que realmente son las funciones ejecutivas (Jurado y Rosselli, 2007). No obstante, dada su utilidad, serán conceptos utilizados para describir dificultades presentadas por los pacientes con TCE.

Uno de los casos más famosos que muestra los efectos de un daño a las conexiones que involucran los lóbulos frontales es el de Phineas Gage (Harlow, 1848, en Barkley, 2012). Gage era un trabajador de vías ferroviarias que, tras una explosión, recibió una herida penetrante que destruyó gran parte de su corteza pre-frontal. A partir de ese momento, mostró alteraciones drásticas en su conducta, personalidad y comportamiento social.

Las personas que reciben daño en esta porción de los lóbulos frontales muestran falta de iniciativa, problemas en conductas dirigidas a metas, cambios emocionales, y dificultades para inhibir la conducta y disminuir reacciones a estímulos externos (Barkley, 2012).

Algunos de los cambios cognitivos que presentan pacientes después de un traumatismo cráneo-encefálico son un decremento en la flexibilidad cognitiva, deficiencias en la planeación, falta de organización, problemas en la secuenciación y en la memoria de trabajo. Estas dificultades surgen por lesiones axonales difusas que dañan la integridad de las conexiones entre regiones cerebrales (Caeyenberghs *et al.*, 2014).

Es importante señalar que las deficiencias en estos procesos pueden encontrarse incluso en los TCE leves (Kumar, Rao, Chandramouli y Pillai, 2013). Kumar *et al.* (2013) describieron deficiencias en la memoria de trabajo en pacientes con estas características, y plantearon que este proceso se nutre de las otras funciones ejecutivas. Una disrupción en una, puede tener un impacto negativo en el desempeño que hace uso de las demás.

Por otra parte, Caeyenberghs *et al.* (2014) describieron el funcionamiento ejecutivo en pacientes con TCE grave y, mediante tractografía y DTI calcularon las propiedades de redes neuronales para definir las características de las mismas en este grupo de pacientes. Los autores describen una limitada capacidad de estas redes para poder integrar la información en regiones corticales como la corteza pre-frontal, corteza parietal y corteza occipital.

Junto a las regiones corticales, es importante también hacer mención a la aportación de estructuras sub-corticales como lo son el cerebelo que contribuye a las operaciones cognitivas complejas (como el alternar entre tareas); el hipocampo, que no sólo actúa con la codificación y recuperación de memorias, sino su conversión a comportamiento; y el tálamo que integra y media diferentes funciones cognitivas (Caeyenberghs *et al.*, 2014). Las funciones ejecutivas, entonces, emergen como un proceso complejo que requiere la correcta integración de información por parte de todo el sistema nervioso central, y el daño a algún nodo de esta red, puede tener impacto global sobre el desempeño cotidiano de las personas con TCE.

#### **2.4 Cambios afectivos tras un TCE.**

Otra de las áreas afectadas tras un traumatismo cráneo-encefálico es el funcionamiento emocional, manifestándose como fallas en la conciencia, reconocimiento, expresión y regulación de las emociones (Neumann, 2017).

Los trastornos afectivos que se relacionan con un TCE dependen de la interacción de factores previos al trauma (historia psiquiátrica o predisposiciones genéticas), factores asociados al mismo (el tipo de daño) y factores subsecuentes que influyen sobre la recuperación (ámbitos familiares y de apoyo social) (Jorge y Arciniegas, 2014).

Jorge y Arciniegas (2014) señalan dos puntos de análisis para los trastornos emocionales asociados a los TCE. Durante los momentos siguientes al traumatismo, los desequilibrios emocionales pueden deberse a alteraciones en las redes neuronales que generan y regulan procesos emocionales, mientras que, aquellos que se desarrollan tiempo después del incidente, normalmente se atribuyen a factores sociales y psicológicos, en especial aquellas manifestaciones de depresión.

En cuanto a los trastornos depresivos, muchos han sido los instrumentos y criterios utilizados para evaluar a los pacientes con TCE (Kreutzer, Seel y Gourley,

2001). Analizando varios reportes, estos autores encontraron prevalencias de depresión que van desde el 6% hasta el 77% en pacientes con esta condición.

Utilizando una muestra de 722 pacientes, y utilizando criterios establecidos por el DSM-IV, Kreutzer *et al.*, (2001) encontraron una prevalencia de 42% para el diagnóstico de trastorno depresivo mayor en pacientes con TCE.

Malec, Brown, Moessner, Stump y Monahan (2010), señalan que una auto-evaluación negativa por parte de los pacientes con TCE correlaciona fuertemente con depresión; por otra parte, la auto-evaluación de la propia discapacidad también ejerce una fuerte influencia en los síntomas depresivos, mientras que no ocurre así con los juicios realizados por los demás; y, finalmente, el trastorno depresivo que presenta el paciente tiene una relación significativa con el resultado funcional del paciente, independientemente de la gravedad de la herida o su discapacidad.

Junto a los trastornos depresivos, Guillamondegui *et al.* (2011) señalan que también se manifiestan trastornos de ansiedad con una prevalencia del 31% al 61% en pacientes con TCE.

En un estudio prospectivo, Demakis, Hammond y Knotts (2010) encontraron que síntomas de ansiedad y depresión son más frecuentes en poblaciones con TCE que en pacientes sanos. Sorprendentemente, encontraron una correlación que indica que puntajes altos en evaluaciones de discapacidad se asocian con menores niveles de ansiedad.

Es sugerido por los investigadores que individuos con traumatismos moderados o graves pueden estar mucho menos conscientes de sus discapacidades, permitiendo que experimenten menos estrés con respecto a su condición (Demakins *et al.*, 2010).

## **2.5 Consideraciones finales.**

La exposición anterior da cuenta de varias de las dificultades que pueden enfrentar los pacientes con traumatismos cráneo-encefálicos. Estas secuelas pueden desaparecer poco tiempo después de la lesión, pero muchas de ellas requieren atención y rehabilitación en muchos aspectos, entre los que pueden destacar los apartados mencionados con anterioridad.

En lo sucesivo, se describirán aproximaciones de tratamiento a los diferentes componentes de esta condición.

## CAPÍTULO 3

### REHABILITACIÓN DE PROCESOS COGNITIVOS AFECTADOS POR TRAUMATISMOS CRÁNEO-ENCEFÁLICOS.

Después de un traumatismo cráneo-encefálico, las deficiencias en las actividades esenciales para la rutina de cada persona (motoras y cognitivas) tienen un impacto en la calidad de vida de los pacientes con TCE. La plasticidad cerebral (la capacidad del cerebro para recuperarse y adaptarse a nuevos ambientes) es un mecanismo crucial después de una lesión. El sistema nervioso central es capaz de una recuperación funcional después de una lesión cerebral debido a mecanismos plásticos, que pueden ser potenciados con el uso de terapias de rehabilitación (Castellanos *et al.*, 2016).

La práctica de ejercicios y la experiencia interactuando con el ambiente puede producir cambios en la organización de la corteza cerebral, y reorganizar redes neuronales que puedan compensar funciones perdidas después de una lesión cerebral (Castellanos *et al.*, 2016).

La rehabilitación cognitiva se define como un servicio de actividades terapéuticas que se basa en la evaluación y el entendimiento de las deficiencias entre el cerebro y la conducta. Las intervenciones específicas pueden: a) reforzar o restablecer patrones de conducta aprendidos previamente, b) establecer nuevos patrones de actividad cognitiva mediante mecanismos compensatorios, c) establecer nuevos patrones de actividad mediante mecanismos compensatorios externos, d) permitir a la persona adaptarse a su nueva discapacidad cognitiva (Cicerone *et al.*, 2000).

#### **3.1 Aproximaciones tradicionales a la rehabilitación de los procesos cognitivos afectados en los TCE.**

Múltiples son las secuelas derivadas de un TCE, entre las más reportadas y tratadas son problemas de naturaleza cognitiva y conductual, como lo son problemas en atención, memoria, solución de problemas, impulsividad, etc. Estos

problemas, junto a afecciones motoras como deficiencias en la postura, balance, movilidad e independencia funcional, afectan negativamente la productividad, calidad de vida y autosuficiencia de los pacientes (Murphy y Carmine, 2012).

Jourdan *et al.* (2013) sugieren que la rehabilitación especializada beneficia el pronóstico de los TCE graves, y que la rehabilitación cognitiva permite una mejor participación socio-profesional y eleva la calidad de vida de los pacientes.

Los tratamientos de rehabilitación cognitiva son diversos y se basan en modelos diversos. Estos tratamientos pueden dedicarse hacia procesos particulares, dirigidos a aumentar el desempeño en actividades determinadas, habilidades específicas, motoras, o a áreas generales como atención, lenguaje, funciones ejecutivas o memoria (Elliot y Parente, 2014).

Braverman *et al.* (1999) diseñaron programas de rehabilitación para personal militar que sufrió TCE. Su programa combinó terapias grupales e individuales en las cuales los pacientes se reunían para discutir eventos, ofrecer retroalimentación y discutir comportamientos que dificultaban su independencia o capacidad para trabajar.

Además, diseñaron grupos para tratar deficiencias particulares y elaboraron tareas para que los pacientes fijaran metas, planearan actividades, comidas en grupos, organizaran horarios, etc.; para tratar funciones ejecutivas como la planeación, organización, monitoreo y manejo del tiempo (Braverman *et al.*, 1999)

En otro ámbito, también diseñaron tareas para enseñar estrategias compensatorias para lograr una codificación efectiva y eficiente de la información, almacenamiento y recuperación de nueva información, ayudando al paciente a identificar técnicas que le ayuden a fortalecer sus deficiencias (repeticiones, asociaciones, diarios de memoria, organizadores electrónicos, etc.). Este grupo se enfocó en la enseñanza de habilidades cognitivas (Braverman *et al.*, 1999).

Finalmente, se enfocaron en habilidades de comunicación para entrenar a los participantes a solicitar que les esclarezcan la información que reciben en su interacción cotidiana y que no puedan comprender, logrando así un mejor proceso

de codificación, junto a terapias psicológicas grupales e individuales para lidiar con las consecuencias de los TCE. Después de un año de seguimiento, Braverman *et al.* (1999) encontraron que el 96% de sus pacientes regresaron a trabajar y un 66% regresaron exitosamente al servicio militar.

Las estrategias empleadas para la rehabilitación cognitiva son variadas y buscan tratar aspectos particulares del funcionamiento del paciente. En una revisión realizada por Cicerone *et al.* (2011) se reportó que, ejercicios destinados al entrenamiento de la atención, se realizaron mediante repeticiones que estimulan este proceso mediante ejercicios graduales, buscando mejorar los procesos neurocognitivos subyacentes descritos con anterioridad.

Entre las estrategias utilizadas en las terapias se utilizaron retroalimentaciones, auto-monitoreo, enseñanza de estrategias, también calendarizaciones para planear o diarios de memoria. Todo con el objetivo de mejorar la solución de problemas en las actividades cotidianas relevantes a cada persona (Cicerone *et al.*,2011).

En el ámbito ejecutivo, Cicerone *et al.* (2011) hacen mención a que los ejercicios más eficaces son aquellos que permiten que el paciente se dé cuenta de sus propias limitaciones y avances, con ejercicios experienciales que le requieran predecir, auto-monitorear y evaluar su propio desempeño.

### **3.2 Aproximaciones apoyadas en tecnología para la rehabilitación de los procesos cognitivos afectados por los TCE.**

Los métodos computarizados de rehabilitación se enfocan en procesos neuropsicológicos similares a los mencionados anteriormente, pero apoyados por ejercicios en computadora que entrenan funciones neuropsicológicas. Usando recursos multimedia e informáticos, con sistemas específicos de hardware o software, se busca volver a poner en marcha desempeños neurocognitivos comprometidos, extendiéndose a entrenamiento de memoria, atención, solución de problemas e incluso simulaciones de ambientes laborales (De Luca *et al.*, 2014).

De Luca y colaboradores (2014) realizaron un estudio en el que compararon la efectividad de la rehabilitación cognitiva tradicional con una apoyada en un sistema computarizado. Evaluando dominios como atención, lenguaje, memoria y funciones ejecutivas en pacientes con TCE grave y utilizando software con ejercicios repetitivos y con incrementos en dificultad elaborado por expertos en Inglaterra (De Luca *et al.*, 2014) encontraron una mejoría mayor en funciones cognitivas en el grupo que recibió el tratamiento apoyado en medios digitales.

Los autores sugieren que el reentrenamiento cognitivo que utiliza computadoras tiene múltiples beneficios después de una lesión cerebral. Entre éstos, se encuentran la repetición de tareas cognitivas, la presentación rápida de los estímulos y la estimulación multi-sensorial (De Luca *et al.*, 2014).

Otro aspecto importante de la rehabilitación cognitiva es el grado en el cual las habilidades entrenadas y adquiridas durante el proceso pueden transferirse a las actividades cotidianas (Björkdahl, Åkerlund, Svensson y Esbjörnsson, 2013).

Utilizando un programa computarizado basado en la repetición intensiva de ejercicios y aumento de dificultad, Björkdahl *et al.* (2013) reportan que, al combinarse con procedimientos tradicionales de rehabilitación, se observan mejoras en puntuaciones de pruebas que evalúan memoria de trabajo y se complementan con reportes de sus participantes en los que se habla de cumplimiento de metas relacionadas al funcionamiento cognitivo del día con día.

Por otra parte, Johansson y Tornmalm (2012) evaluaron el impacto del mismo programa computarizado en la vida cotidiana de personas con heridas cerebrales. Entre sus resultados reportan que la habilidad de sus participantes para manejar sus actividades cotidianas mejoró.

De forma muy interesante, encontraron que los pacientes con menor capacidad inicial en memoria de trabajo se beneficiaron mucho más del entrenamiento computarizado, y que el tiempo después de la herida no afectó los resultados (Johansson y Tornmalm, 2012).

Un aspecto importante a considerar es que la rehabilitación asistida por desarrollos tecnológicos puede representar un ahorro en costos y elevar la comodidad de algunos pacientes para realizar algunos ejercicios, pero las diferencias con las terapias tradicionales no son excepcionalmente mayores (Chen, Thomas, Glueckauf y Bracy, 1997).

Chen *et al.* (1997) compararon una intervención basada en computadora y una intervención tradicional que incluía terapia de lenguaje y terapia ocupacional en pacientes con TCE, y aunque encontraron mejora en más medidas neuropsicológicas en pacientes sometidos al tratamiento por computadora, éstas no fueron diferencialmente significativas al grupo de intervención tradicional.

Aun con una tendencia hacia los resultados positivos, existe mucha variabilidad dentro de las investigaciones que evalúan los efectos de plataformas digitales sobre la cognición de personas con traumatismo cráneo-encefálico. Bogdanova, Yee, Ho y Cicerone (2016) señalan efectos positivos en personas con distintos tipos de TCE y accidentes cerebro-vasculares, estos efectos son comparables a métodos tradicionales de rehabilitación.

### **3.3 Tele-rehabilitación.**

La conexión de banda ancha a internet ha permitido que los servicios digitales de rehabilitación puedan llegar a personas que, de otra manera, no tienen forma de desplazarse hacia un centro de rehabilitación y, a su vez, también ofrecen una forma de continuar con los ejercicios fuera de las instalaciones clínicas (Gamito *et al.*, 2011). Esta aproximación es conocida como tele-rehabilitación y puede ser una manera más conveniente y barata de proveer de rehabilitación (Laver *et al.*, 2013).

Los pacientes que sufren diversas heridas cerebrales requieren tratamientos largos e intensivos (Agostini *et al.*, 2014). De acuerdo con estos autores, la mejor manera de mejorar el pronóstico de los pacientes es ofreciendo servicios de tratamiento en casa y reduciendo los tiempos de hospitalización.

Trabajando con pacientes con deficiencias afásicas derivadas de un accidente cerebrovascular, Agostini *et al.* (2014) diseñaron una intervención a distancia en la cual los pacientes debían nombrar objetos presentados en un monitor. Los autores no encontraron que el procedimiento a distancia ofreciera resultados menos favorables que los métodos convencionales, sosteniendo la plausibilidad de la tele-rehabilitación como método de tratamiento.

Ng, Polatakjo, Marziali, Hunt y Dawson (2013) estudiaron los efectos de un programa piloto de tele-rehabilitación para tratar funciones ejecutivas en pacientes con traumatismo cráneo-encefálico. Mediante el entrenamiento a distancia de estrategias para mejorar el auto-monitoreo, solución de problemas e implementación de estrategias encontraron que esta población presenta mejoras significativas en sus actividades cotidianas y la capacidad para transferir lo aprendido a situaciones diferentes.

Phillips *et al.* (2016) utilizaron un programa diseñado para el entrenamiento de funciones cognitivas a distancia (CogMED) en un estudio controlado, aleatorizado y doble-ciego en niños con TCE moderado y grave. Los autores encontraron mejoras en medidas de memoria de trabajo. No obstante, estas mejoras fueron muy dependientes de la tarea utilizada, no encontraron una transferencia de las habilidades aprendidas en un ámbito particular de memoria de trabajo hacia otro tipo de actividades.

Zickefoose, Hux, Brown y Wulf (2013) evaluaron dos sistemas remotos que ofrecen rehabilitación remota de procesos cognitivos: ATP-3 y Lumosity. ATP-3 se comprende de diversas actividades diseñadas para estimular procesos de atención, con repeticiones constantes para la formación de nuevas conexiones neurales y el aumento progresivo de los ejercicios, reportando beneficios en la cognición de pacientes con TCE.

Por otra parte, Lumosity es un programa web con diversos ejercicios y juegos para estimular procesos mentales. Zickefoose *et al.* (2013) dan cuenta de mejoras significativas en la velocidad de procesamiento, flexibilidad cognitiva, memoria, y activaciones pre-frontales después de las intervenciones.

Con esos recuentos en cuenta, evaluaron los dos programas en grupos diferentes de participantes con TCE grave, encontrando mejoras en las conductas de atención, señalando que las intervenciones con ambos programas pueden ser efectivas y promisorias en etapas tempranas de la lesión cerebral. No obstante, los autores señalan que es necesario considerar efectos de práctica en las tareas de las intervenciones, junto al funcionamiento cotidiano de los participantes (Zickefoose *et al.*, 2013).

### **3.4 Tele-rehabilitación y Realidad Virtual.**

Uno de los avances más promisorios en la rehabilitación de funciones cognitivas reside en el diseño de ambientes en realidad virtual (Gamito *et al.*, 2011). Estos autores sostienen que, la realidad virtual puede promover programas más intensivos y con más apoyo para la ejecución de ejercicios mientras se le provee retroalimentación al paciente con respecto a su desempeño. A su vez, Gamito y sus colaboradores (2011) señalan que es una respuesta a la necesidad de menores tiempos de hospitalización planteada por Agostini *et al.* (2014) y el cuidado en casa.

Los ambientes en realidad virtual, de acuerdo con Pietrzak, Pullman y McGuire (2014), son mundos artificiales que consisten en imágenes y sonidos generados por un ordenador y que son afectados por las acciones de la persona que está interactuando con éstos, siendo una de las terapias que han visto un incremento en su uso con pacientes con TCE.

Pietrzak *et al.*, (2014) señalan que la mayor ventaja de los ambientes en realidad virtual en la rehabilitación de los TCE es su capacidad para simular muchas situaciones de la vida cotidiana, mientras que se provee de un ambiente seguro y constante que tiene el potencial de ofrecer infinitas repeticiones del mismo entrenamiento.

Estas repeticiones pueden promover un aumento en la frecuencia de sesiones de tratamiento, ya que el paciente puede elegir cuándo y cómo realizar sus sesiones de rehabilitación (Piron *et al.*, 2009).

Piron *et al.*, (2009) compararon los resultados de una intervención en tele-rehabilitación con los resultados de una intervención tradicional para la rehabilitación de problemas motores en los brazos de personas que sufrieron un evento isquémico cerebral. Sus resultados sugieren eficacia similar de ambos tratamientos. No obstante, mejores puntajes fueron encontrados en el grupo que recibió rehabilitación a distancia.

Lloréns, Noé, Colomer y Alcañiz (2014) encontraron resultados igual de efectivos entre la tele-rehabilitación con realidad virtual y el tratamiento tradicional para rehabilitar el balance en personas que sufrieron un accidente cerebrovascular.

Por otra parte, Rose, Brooks y Rizzo (2005) dan cuenta de la misma efectividad en comparación con tratamientos de rehabilitación tradicionales en ámbitos de funciones ejecutivas, memoria y atención.

Gamito *et al.*, (2011) diseñaron una plataforma en realidad virtual que consta de diversos escenarios en los cuales el paciente puede llevar a cabo diversos ejercicios para mejorar atención, memoria y funciones ejecutivas y diferentes grados de dificultad. Encontraron que, tras diez sesiones de intervención específicamente diseñadas para procesos particulares, se mostró un incremento en la memoria de trabajo y niveles de atención, proponiendo un incremento en el funcionamiento cognitivo de un paciente con traumatismo cráneo-encefálico.

Originalmente diseñada como una plataforma de evaluación de atención y funciones ejecutivas para superar los problemas de validez ecológica de las pruebas neuropsicológicas tradicionales (Gamito *et al.*, 2016a), la plataforma sistémica de Lisboa está compuesta por distintas actividades construidas en

videojuegos serios que invita a la ejecución de procesos cognitivos en los participantes que se desenvuelven en ella.

Con resultados correlacionados con diversas medidas neuropsicológicas, los resultados encontrados en estudios con ella se caracterizan por adecuadamente dar cuenta de procesos cognitivos y permitir la estimulación de los mismos mediante la repetición de ejercicios, abriendo la posibilidad de ser utilizada como herramienta de evaluación y de rehabilitación (Gamito *et al.*, 2016b)

Las intervenciones con realidad virtual, combinadas con la tele-rehabilitación, pueden superar limitaciones de espacio y tiempo, dando la oportunidad de que la rehabilitación se lleve a cabo fuera de los ambientes hospitalarios (Ku y Kang, 2018).

Sobre la misma línea, el presente trabajo utiliza una adaptación al contexto mexicano de la plataforma elaborada por Gamito *et al.* (2011) para tratar estas deficiencias cognitivas en pacientes con un TCE.

## CAPÍTULO 4

### MÉTODO.

#### 4.1 Justificación.

Los traumatismos cráneo-encefálicos son la cuarta causa de muerte en México (Carrillo y Meza, 2015) con un índice de mortalidad de 38.8 por cada 100,000 habitantes (Ontiveros *et al.*, 2014).

Junto a las dificultades cognitivas que enfrenta una persona con un traumatismo cráneo-encefálico, y la incapacidad para realizar ciertas actividades cotidianas, también es importante considerar que este proceso puede ser difícil también en términos de finanzas, pudiendo llevar incluso a la bancarrota a un individuo o a su familia (Timmons, 2018), mientras que el estado mexicano invierte 4.5 billones de pesos en gasto directo anual, y 33.3 billones de pesos en gastos indirectos (incapacidades y pensiones) (Ontiveros *et al.*, 2014).

Ontiveros *et al.*, (2014) señalan que sólo un 40% de los sobrevivientes de un TCE llegan a reincorporarse a actividades productivas, y su calidad de vida dependerá de las secuelas neuropsicológicas, calculando 20 mil casos de discapacitados al año.

Quienes sobreviven y presentan secuelas, requerirán asistencia para la rehabilitación para las funciones perdidas. No obstante, este proceso debe continuar fuera de las instalaciones hospitalarias (Gamito *et al.*, 2011) y el hecho de que los servicios de rehabilitación puedan continuar en casa, ofrece un mejor pronóstico de rehabilitación (Agostini *et al.*, 2014). Desafortunadamente, en México se cuentan con pocos centros institucionales que ofrezcan estos servicios de rehabilitación, y la mayoría de ellos se encuentran centralizados en ciudades capitales dejando de lado a los miembros de comunidades rurales.

Por tanto, la presente propuesta busca evaluar el efecto de la batería sistémica de Lisboa (Gamito *et al.*, 2014), con contenido adaptado al contexto

cultural mexicano, en la rehabilitación de procesos cognitivos de atención, memoria y funciones ejecutivas. Para, de esta manera, contribuir a la investigación sobre la eficacia de esta intervención y abrir paso a la tele-rehabilitación de funciones cognitivas en personas que no tengan acceso a instalaciones clínicas.

#### **4.2 Planteamiento del Problema.**

La frecuencia de los traumatismos cráneo-encefálicos es tan elevada que, en México, llegan a representar la cuarta causa de muerte y una de las mayores causas de discapacidad (Carrillo y Meza, 2015)

El daño en las estructuras cerebrales deriva en una gran cantidad de problemas en el funcionamiento cotidiano, ya que el movimiento de extremidades puede verse comprometido y/o también pueden presentarse afecciones en procesos cognitivos como atención y memoria.

En cuanto a la rehabilitación de estos procesos cognitivos, se suele tomar una aproximación de rehabilitación neuropsicológica tradicional. Ésta consiste en una repetición constante de ejercicios destinados a entrenar funciones particulares. No obstante, este proceso puede ser arduo y largo para los pacientes (Gamito *et al.*, 2011) y costarle mucho dinero a los servicios públicos de salud (Ontiveros *et al.*, 2014).

Investigaciones previas han demostrado la eficacia de las intervenciones digitales para rehabilitar procesos cognitivos (Rose *et al.*, 2005; Gamito *et al.*, 2011; Pietrzak *et al.* 2014) y motores (Lloréns *et al.*, 2014) en personas que sufrieron un TCE.

Derivado de la evidencia anterior, el presente trabajo busca evaluar el efecto de una plataforma en realidad virtual, adaptada al contexto mexicano, para mejorar procesos cognitivos en pacientes que sufrieron un TCE grave y presentan dificultades en procesos cognitivos como funcionamiento ejecutivo, atención y memoria. Para ello, se realizó una extensa evaluación neuropsicológica inicial, junto a una evaluación afectiva, para tener un panorama mucho mayor acerca del funcionamiento cognitivo del paciente, y poder detectar cambios en dominios

particulares de la cognición después del tratamiento. Esto con el fin de conocer el efecto de la plataforma en diversas áreas cognitivas, y contribuir al desarrollo de un programa de rehabilitación a distancia que pueda implementarse para las personas que no tienen acceso a centros de atención y rehabilitación.

### **4.3 Preguntas de Investigación.**

¿Cuál es el efecto sobre los procesos cognitivos de atención, memoria y funcionamiento ejecutivo de una plataforma de rehabilitación diseñada en realidad virtual en personas con TCE grave?

¿Cuál es el impacto de este proceso de rehabilitación sobre las esferas afectivas de personas con TCE grave?

¿Cuál es el grado de usabilidad reportado por las personas con TCE grave de esta plataforma en realidad virtual?

### **4.4 Objetivo general.**

Evaluar el efecto de una plataforma digital apoyada en realidad virtual diseñada por Gamito y colaboradores (2011) y adaptada al contexto mexicano en la rehabilitación de procesos como atención, memoria y funciones ejecutivas en personas con un diagnóstico de traumatismo craneo-encefálico grave.

#### **4.4.1 Objetivos específicos.**

- Comparar el estado de los procesos de atención en dos participantes con TCE grave antes y después de la intervención en realidad virtual.
- Comparar el estado de elementos de memoria en dos participantes con TCE grave antes y después de la intervención en realidad virtual.
- Analizar el funcionamiento ejecutivo de dos participantes con TCE grave antes y después de la intervención en realidad virtual.
- Identificar posibles cambios en el estado afectivo de dos participantes con TCE grave después de someterse a un tratamiento de rehabilitación en realidad virtual.

- Identificar el grado de usabilidad de este sistema de rehabilitación mediante realidad virtual.

#### 4.5 Hipótesis.

H1: El tratamiento de rehabilitación en la plataforma en realidad virtual tendrá un efecto positivo en la cognición y los estados afectivos de dos participantes con TCE grave.

H2: El sistema en realidad virtual tendrá un grado alto de usabilidad para esta población.

#### 4.6 Variables.

##### *Variable Independiente.*

Tratamiento de rehabilitación apoyado en realidad virtual de acuerdo con sistema y protocolo diseñados por Gamito *et al.* (2011) adecuado a un contexto mexicano.

##### *Variables Dependientes.*

- Atención.
- Memoria.
- Funciones ejecutivas.
- Estado anímico.

##### *Definición conceptual de las variables dependientes.*

**Atención:** Es el medio por el cual se procesa de manera activa una pequeña cantidad de la inmensa información a la que tenemos acceso por medio de los sentidos, los recuerdos, y otros procesos cognoscitivos. (Sternberg, 2011).

**Memoria:** La memoria es un sistema mediado por diferentes redes neuronales que pueden operar en paralelo y que cumplen la función de recuperar experiencias previas (aprendizaje) para poder cumplir con las exigencias del ambiente (Henke, 2010). Estas experiencias previas se codifican en relaciones de

tiempo, espacio y contenido, y su asociación mediante procesos bioquímicos en las neuronas es la que da lugar a lo que conocemos como memoria (Sun *et al.*, 2015).

**Funciones ejecutivas:** Las funciones ejecutivas son procesos cognitivos de control voluntario que hacen referencia a la inhibición (auto-control y control de la interferencia), memoria de trabajo y flexibilidad cognitiva. A partir de estos procesos básicos se construyen el razonamiento, la solución de problemas y la planeación (Diamond, 2013).

**Estado anímico:** Es una o varias reacciones afectivas distintas a las emociones. Su intencionalidad no es dirigida hacia un objeto o un evento, sino es la designación para estados afectivos con respecto al mundo en general. Son estados de larga duración y expansivos. Es esta expansión la que promueve que el estado se propague hacia todas las esferas de la vida, y no sólo a un probable evento que haya provocado una emoción negativa o positiva (Frijda, 2009).

*Definición operacional de las variables dependientes.*

**Atención:** Puntajes obtenidos en los apartados de orientación, atención y concentración en la *Batería neuropsicológica breve en español NEUROPSI*; puntaje obtenido en el *Test de la figura compleja de Rey-Osterrieth*, puntajes de *Color Trails 1 y 2 A* para atención sostenida y dividida; puntajes de atención de la *Evaluación cognitiva de Montreal*.

**Memoria:** Puntajes obtenidos en los apartados de codificación y evocación en la *Batería neuropsicológica breve en español NEUROPSI*; puntaje obtenido en la evaluación de memoria del *Test de la figura compleja de Rey-Osterrieth*; puntajes del *test de Aprendizaje Verbal Auditivo de Rey (RAVLT)*, puntajes de memoria en la *Evaluación cognitiva de Montreal*.

**Funciones Ejecutivas:** Puntajes obtenidos en el apartado de Funciones Ejecutivas en la *Batería neuropsicológica breve en español NEUROPSI*; Puntajes obtenidos en las sub-escalas de memoria de trabajo en la *Escala Wechsler de inteligencia para adultos IV* y el índice de memoria de trabajo en la misma;

puntajes ejecutivos en la *Evaluación Cognitiva de Montreal*; puntajes en las rúbricas de la *Batería de evaluación frontal*; y puntajes derivados del *Test de clasificación de tarjetas de Wisconsin*.

**Estado anímico:** Puntajes obtenidos en el *Inventario de síntomas SCL-90-R*, *Inventario de Depresión de Beck* y *Escala de afectos positivos y negativos*.

*Variables Organísmicas.*

- Traumatismo cráneo-encefálico grave.
- Edad.
- Escolaridad.

*Definición conceptual de las variables organísmicas.*

**Traumatismo cráneo-encefálico grave:** Un traumatismo cráneo-encefálico (TCE) es un cambio en la estructura o función del encéfalo provocado por una fuerza biomecánica aplicada al cerebro (Menon *et al.*, en Turkstra y Politis, 2017). El paciente puede transitar entre estado vegetativo, estados mínimos de conciencia, estados de confusión y el proceso de recuperación puede ser prolongado (Griffe, y Hanks, 2014).

**Edad:** Tiempo que ha vivido una persona (Real Academia de la Lengua Española, 2016).

**Escolaridad:** Conjunto de cursos que un estudiante sigue en un establecimiento docente (Real Academia de la Lengua Española, 2016).

*Definición operacional de las variables organísmicas.*

**Traumatismo cráneo-encefálico grave:** Suma de puntuaciones igual o menor a ocho (8) en la Escala de Coma de Glasgow al momento de recibir atención hospitalaria.

**Edad:** Tiempo de vida reportado por el participante, comenzando por su fecha de nacimiento hasta el momento de la intervención.

**Escolaridad:** Año y tipos de estudios realizados por el participante.

#### Definición conceptual de la variable del sistema.

**Usabilidad:** Grado en el que un sistema es de fácil interacción para el usuario (Brooke, 1996).

#### Definición operacional de la variable del sistema.

**Usabilidad:** El sistema se considera usable si tiene un puntaje mayor a 68 en la Escala de Usabilidad de Sistema (Brooke, 1996).

### **4.7 Diseño y tipo de estudio.**

Se presentan dos estudios de caso (Kazdin, 1982), de tipo exploratorio, transversal descriptivo y comparativo.

### **4.8 Tipo de muestra.**

La muestra es no probabilística. Los participantes con diagnóstico de TCE grave fueron seleccionados de acuerdo con las necesidades de la investigación.

### **4.9 Participantes.**

Dos individuos de sexo masculino (29 años) con diagnóstico de traumatismo cráneo-encefálico grave, que reportan dificultades en procesos cognitivos y tareas cotidianas un año después de la lesión, expresadas tanto por ellos mismos como por sus familiares. La corroboración de estos síntomas se llevará a cabo durante una entrevista inicial y una evaluación neuropsicológica conformada por diversas pruebas para analizar diversos elementos cognitivos en los participantes.

De acuerdo con el protocolo propuesto por Gamito *et al.* (2011), los criterios de inclusión son:

- Diagnóstico de traumatismo cráneo-encefálico por profesionales médicos dentro de tres a doce meses después del accidente.
- Deficiencias clínicas en atención y memoria.
- Ambos géneros con edades entre los 18 y 60 años.

Por otra parte, los criterios de exclusión (Gamito *et al.*, 2011) son:

- Pacientes con trastornos psiquiátricos previos que pudiesen influir sobre los procesos de atención, memoria y funciones ejecutivas.
- Dependencia a drogas.
- Depresión grave.
- Demencia y otro tipo de trastornos neurológicos.

#### **4.10 Instrumentos.**

*Evaluación Neuropsicológica Breve en Español* (Ostrosky-Solís, Ardila y Rosselli, 1998). Este instrumento permite evaluar un gran rango de funciones cognitivas en pacientes de diversa índole (orientación, atención y concentración, memoria, lenguaje, habilidades visoespaciales, funciones ejecutivas, lectura, escritura y cálculo) mediante reactivos sencillos y cortos.

*Inventario de Síntomas SCL-90-R* (Derogatis, 2002) en español (Casullo y Pérez, 2008). Este inventario evalúa patrones de síntomas presentes en individuos. Evalúa nueve funciones primarias (somatizaciones, obsesiones y compulsiones, sensibilidad interpersonal, depresión, ansiedad, hostilidad, ansiedad fóbica, ideación paranoide, psicoticismo) y refleja tres índices globales: índice global de severidad, total de síntomas positivos, índice malestar sintomático positivo.

*Escala de Afecto Positivo y Negativo* (Watson, Clark, Tellegen, 1988). Esta escala, validada transculturalmente (Sandín *et al.* 1999) y en población mexicana (Moral de la Rubia, 2011), consta de 20 adjetivos (una mitad de afecto positivo y otra mitad de afecto negativo). El afecto positivo representa una dimensión con emociones placenteras manifestadas en motivación y energía, mientras que el afecto negativo se manifiesta por miedos, inhibiciones, inseguridades que dan lugar a emociones displacenteras.

*Inventario de Depresión de Beck* (Beck, Steer y Carbin, 1988) validado en población mexicana (Jurado *et al.* 1998). Fundamentalmente evalúa síntomas

requeridos para el diagnóstico de depresión. Consta de 21 reactivos en los cuales la gravedad de los síntomas es evaluada en una escala del 0 a 3. El puntaje obtenido se coloca en rangos que van de 0 a 5 (depresión mínima), de 6 a 15 (depresión leve), de 16 a 30 (depresión moderada) y de 31 a 63 (depresión grave).

Las formas A de las pruebas *Color Trails 1 y 2* (D'Elia y Satz, 2000). Libre de sesgos de lenguaje y culturales (D'Elia y Satz, 2000), la prueba *Color Trails* evalúa la atención sostenida en adultos y la secuenciación para la toma de acción. Siguiendo a los autores de la prueba, se utilizan las formas A ya que sus resultados pueden ser utilizados para evaluación clínica.

*Prueba de Memoria de Trabajo de la Escala Wechsler de Inteligencia para Adultos IV* (Wechsler, 2014). La prueba de Memoria de Trabajo está compuesta por las siguientes sub-escalas: a) Retención de Dígitos (orden directo, orden inverso y en secuencia), b) Aritmética, y c) Sucesión de Números y Letras. De acuerdo con Wechsler (2014) fueron aplicados todos los reactivos iniciales ya que existe diagnóstico de deficiencias cognitivas.

*Evaluación Cognitiva de Montreal en su Versión 7.3 Mexicana Alterna*. Esta evaluación desarrollada por Nasreddine (2005) y adaptado por Ledesma (2014) busca detectar deterioro cognitivo leve de una manera rápida en dominios ejecutivos, de memoria, atención, lenguaje, orientación, entre otros.

*Batería de Evaluación Frontal (FAB)* (Dubois, Slachevsky, Litvan y Pillon, 2000). Este instrumento, adaptado preliminarmente al español (Rodríguez del Álamo, Catalán-Alonso y Carrasco-Marín, 2003) fue utilizado como complemento a las mediciones relacionadas a los elementos cognitivos estudiados, y mediante actividades de a) semejanzas, b) fluidez verbal, c) series motrices, d) instrucciones conflictivas, e) *go-no-go*, f) conducta de presión, evalúa las funciones del lóbulo frontal cerebral, asociado a funciones ejecutivas (Miyake *et al.*).

*Prueba de la figura compleja de Rey* (Rey, 2009). Cuando existen sospechas de deficiencia de memoria, no es suficiente comprobar las dificultades para recordar elementos. Es necesario comprobar que el participante percibió

correctamente los datos que debe observar y mantener. En una primera aplicación, al participante se le presenta una figura compuesta por diversos elementos y se solicita que la copie en una hoja en blanco. Treinta minutos después, al participante se le pide que dibuje de nueva cuenta la figura, esta vez sin el modelo, para evaluar el recuerdo que posee de la misma.

*Test de Aprendizaje Auditivo Verbal de Rey* (Sánchez-Nieto, Villa Rodríguez y Mendoza-Núñez, 2016). Este test analiza el aprendizaje y la capacidad de retención mediante la lectura de 15 palabras que no guardan relación entre sí. Esta lista se lee cinco veces, y entre cada ensayo se le pide al sujeto que evoque las palabras que recuerda de la lista. Después de treinta minutos se estudia el recuerdo demorado, pidiendo al participante que evoque las palabras que aún recuerda de la lista.

*Test de Clasificación de Tarjetas de Wisconsin* (Heaton, Chelune, Talley, Kay y Curtiss, 2001). En esta prueba se le presenta al participante cuatro tarjetas “muestra” y se le solicita que coloque otras tarjetas que se le van presentando, de uno en uno, en una fila por debajo de la tarjeta que considere forman una categoría. Estas categorías son: color, forma y número, mas no se le informa al evaluado que estas son las categorías existentes. Únicamente se le informa si su selección fue correcta o incorrecta. Esto permite evaluar perseveraciones, flexibilidad cognitiva y formación de categorías.

*Escala de Usabilidad del Sistema* desarrollada por Brooke (1996). Esta escala permite evaluar las características de la plataforma virtual, mediante un cuestionario breve que solicita al usuario su opinión con respecto a diez reactivos presentados en una escala del uno al cinco. Estos reactivos preguntan la frecuencia en que el usuario usaría el sistema, la complejidad del mismo, su sencillez, su consideración con respecto a su capacidad de utilizarlo, entre otros.

El escenario en realidad virtual es una adaptación al contexto mexicano de la batería sistémica de Lisboa (Gamito *et al.*, 2011) que permite al participante interactuar mediante unos lentes de realidad virtual. Éste consiste en una simulación de un departamento, una pequeña ciudad con varias calles y avenidas,

gente, autos, edificios y supermercados, entre otros; en los cuales el participante tiene la libertad para moverse e interactuar con objetos para completar diferentes tareas de memoria y atención.

El participante accede al escenario en realidad virtual haciendo uso de un visor iWear desarrollado por Vusix e interactúa con la plataforma utilizando un mouse de computadora y un control n52te de Belkin. La computadora que lleva a cabo la simulación tiene un procesador Intel Core i7 (2.93 GHz), 4 Gb RAM con Windows 7 Home Premium y una tarjeta gráfica NVIDIA GeForce GT 430.

#### **4.11 Procedimiento.**

Las sesiones se llevaron a cabo en el Laboratorio de Enseñanza Virtual y Ciberpsicología de la Facultad de Psicología en Ciudad Universitaria, UNAM. La habitación donde se encuentra el equipo está aislada del resto del laboratorio y de la influencia de estímulos externos.

Las sesiones se conforman de la siguiente manera, tomando como referencia la propuesta de Gamito *et al.* (2011):

**Sesiones de evaluación:** Dos sesiones en las cuales se aplicarán pruebas de evaluación cognitiva y neuropsicológica y firma del consentimiento informado.

#### **Sesiones de intervención:**

- *Sesión 1 – Entrenamiento:* En un pequeño laberinto virtual se solicita al participante que se desplace a través de él y tome unas cajas que se encuentran a su paso. Esto con el objetivo de familiarizarlo con el uso de realidad virtual y los controles.
- *Sesión 2 – Guardarropa (Planificación) y Juego de memoria (Memoria):* Se le solicita al participante seleccionar ropa de un clóset con prendas específicas para partes del cuerpo, así como resolver actividades de igualación de estímulos en una versión digital de un memorama.
- *Sesión 3 – Cocina (Secuencia, planificación) y Juego de igualación de zapatos (Igualación):* Se solicita al participante que elabore un pastel

siguiendo una lista de ingredientes y tomando éstos de una alacena, así como también organizar zapatos virtuales de acuerdo a los colores del estante para los mismos.

- Sesión 4 – Orientación Espacial: Se le solicita al participante que se desplace por la ciudad virtual en busca de supermercados, galería de arte y un casino. Así como también desplazarse siguiendo las instrucciones del examinador.
- Sesión 5 – Televisión (*Memoria declarativa*): Le es solicitado al participante que mire programas en la televisión y se le hacen preguntas al respecto de éste. Estos programas son de difusión científica y avances tecnológicos.
- Sesión 6 – Supermercado “La Rosa” (*Memoria de Trabajo*): Se le solicita al participante comprar productos sin tener una lista de compras. Es el examinador quien propone los objetos a adquirir.
- Sesión 7 – Farmacia (*Memoria de trabajo, planificación, cálculo*): El participante debe adquirir los productos solicitados en una lista de compras generada aleatoriamente de forma automática.
- Sesión 8 – Supermercado “La Güera” (*Memoria de trabajo, planificación, cálculo*): En esta tarea, el participante debe comprar los productos expresados en una lista de compras que se generó de forma automática y al azar, haciendo uso del dinero que se le presenta.
- Sesión 9 – Galería de Arte (*Atención*): En esta sección, el participante debe acercarse a diferentes pinturas y realizar diversas tareas:
  - a) Encontrar las diferencias entre cuadros que aparentan ser similares.
  - b) Encontrar elementos particulares en pinturas.
  - c) Organizar divisiones de una pintura para formar la imagen completa.
- Sesión 10 – Casino (*Toma de decisiones*): El participante debe seleccionar en qué máquina de casino jugar en función al número de ganancias y pérdidas. El participante puede interactuar con máquinas que le proveerán más ganancias con pérdidas mayores, o con máquinas cuyas ganancias no serán tan elevadas, pero no perderá mucho en el proceso.

**Sesiones de post-evaluación:** Dos sesiones en las cuales se aplicarán de nuevo pruebas de evaluación cognitiva y neuropsicológica para comparar las mejoras en los resultados.

## CAPÍTULO 5

### RESULTADOS.

En la tabla 1 se muestran las características de los dos participantes que formaron parte de este estudio. Las edades de éstos fueron 29 años, con un tiempo de evolución de un año después del traumatismo cráneo-encefálico y con una escolaridad de 15 años.

**Tabla 1.** *Características sociodemográficas y descripción de la lesión de cada uno de los participantes.*

Participante	Edad	Educación (años)	Sexo	Tiempo de evolución (meses)	Diagnóstico	Causa de la lesión	Secuelas cognitivas reportadas
RC	29	15	Masculino	12	TCE grave	Accidente automovilístico	Dificultades en memoria y atención.
AM	29	15	Masculino	12	TCE grave	Caída	Dificultad para concentrarse y en memoria.

Ambos participantes se encontraban realizando estudios de licenciatura antes de sus respectivos accidentes y tuvieron que dejar sus actividades tras sufrir un TCE. A partir de ese momento, ambos reportan disminución en el rendimiento en el funcionamiento cognitivo siendo éste un impedimento para poder realizar sus actividades cotidianas.

Junto a los problemas cognitivos, AM presentó dificultades motoras que le requirieron terapia física, mientras que RC y sus familiares reportaron problemas en la regulación del comportamiento y un cambio hacia un temperamento más agresivo.

Datos con respecto a la naturaleza fisiológica de sus heridas no fueron proporcionados para el desarrollo de esta investigación.

## 5.1 Evaluación neuropsicológica general.

La batería de evaluación neuropsicológica breve en español (Ostrosky *et al.*, 1999) evalúa diversos elementos del funcionamiento cognitivo de una persona entre los que se encuentran *orientación, atención, memoria, lenguaje, lectura y escritura, y funciones ejecutivas*. Al ser la prueba más general realizada, los perfiles pre y post-tratamiento se presentan en las figuras 1, 2, 3 y 4.

De acuerdo con los puntos de cortes planteados en la prueba (Ostrosky *et al.*, 1999), el participante AM presentó un deterioro severo al inicio de la intervención, y al terminar un deterioro moderado (85.5 a 93); Por otra parte, RC presentó una mejora pasando del deterioro leve a niveles de normalidad (98 a 110). Los resultados se detallarán con más precisión más adelante.

Otra evaluación utilizada que arroja características generales del funcionamiento cognitivo de un participante es la Evaluación Cognitiva de Montreal (Ledesma, 2014). En la figura 5 es posible observar los resultados obtenidos por el participante AM en las condiciones pre-test y post-test junto a los puntajes máximos posibles para cada prueba. De acuerdo con Nasreddine *et al.* (2005) un puntaje igual o menor a 26 refleja algún tipo de daño cognitivo. AM comenzó el tratamiento con un puntaje de 23 y terminó con un puntaje de 20; por otra parte, en la figura 6 se observan los resultados de RC. Éste comenzó con 22 en la medición pre-test y terminó con 21 en la medición post-test. Ninguno de los participantes superó el punto de corte de 26.

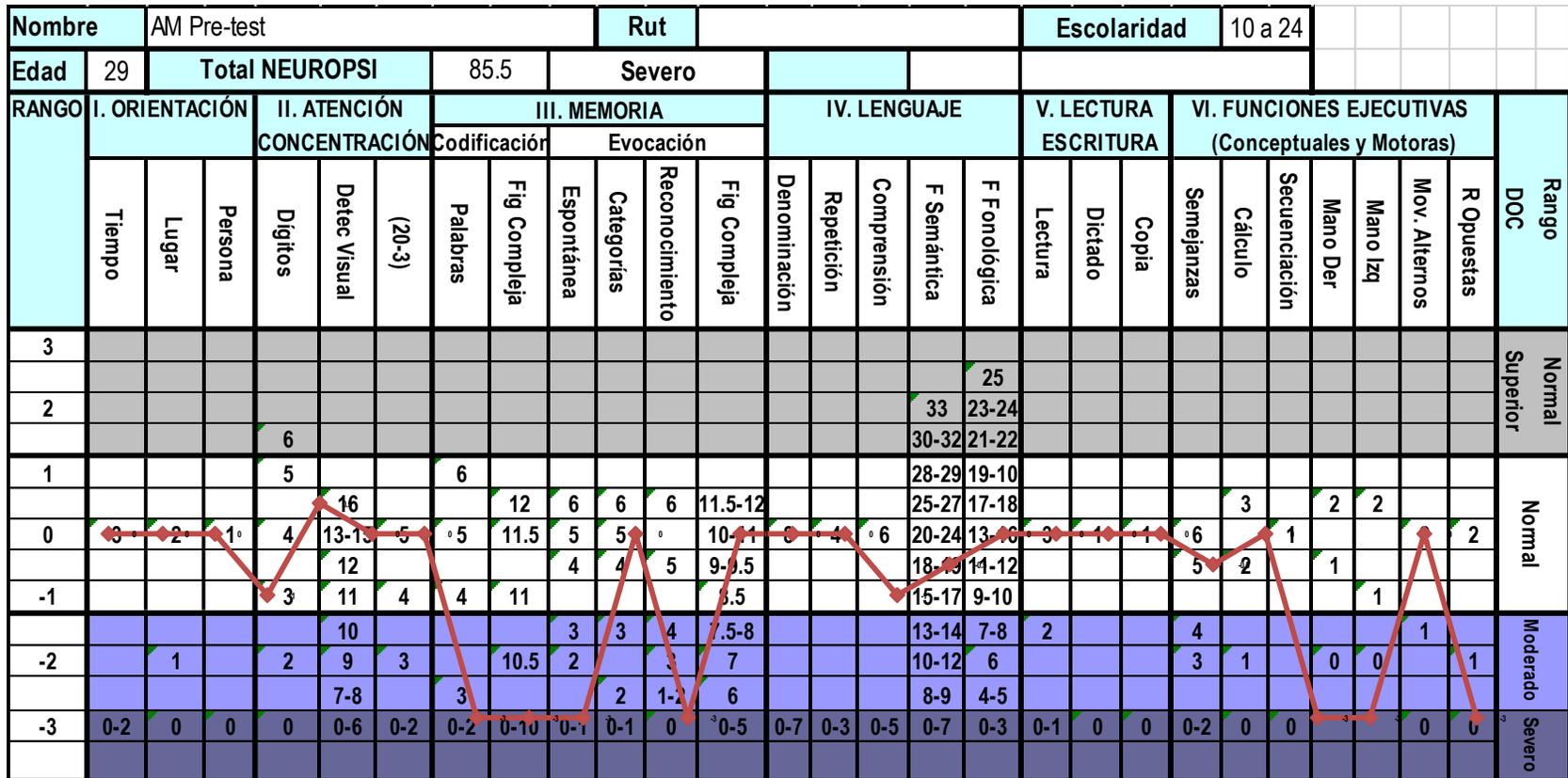


Figura 1. Perfil pre-test de NEUROPSI Breve en español del participante AM.



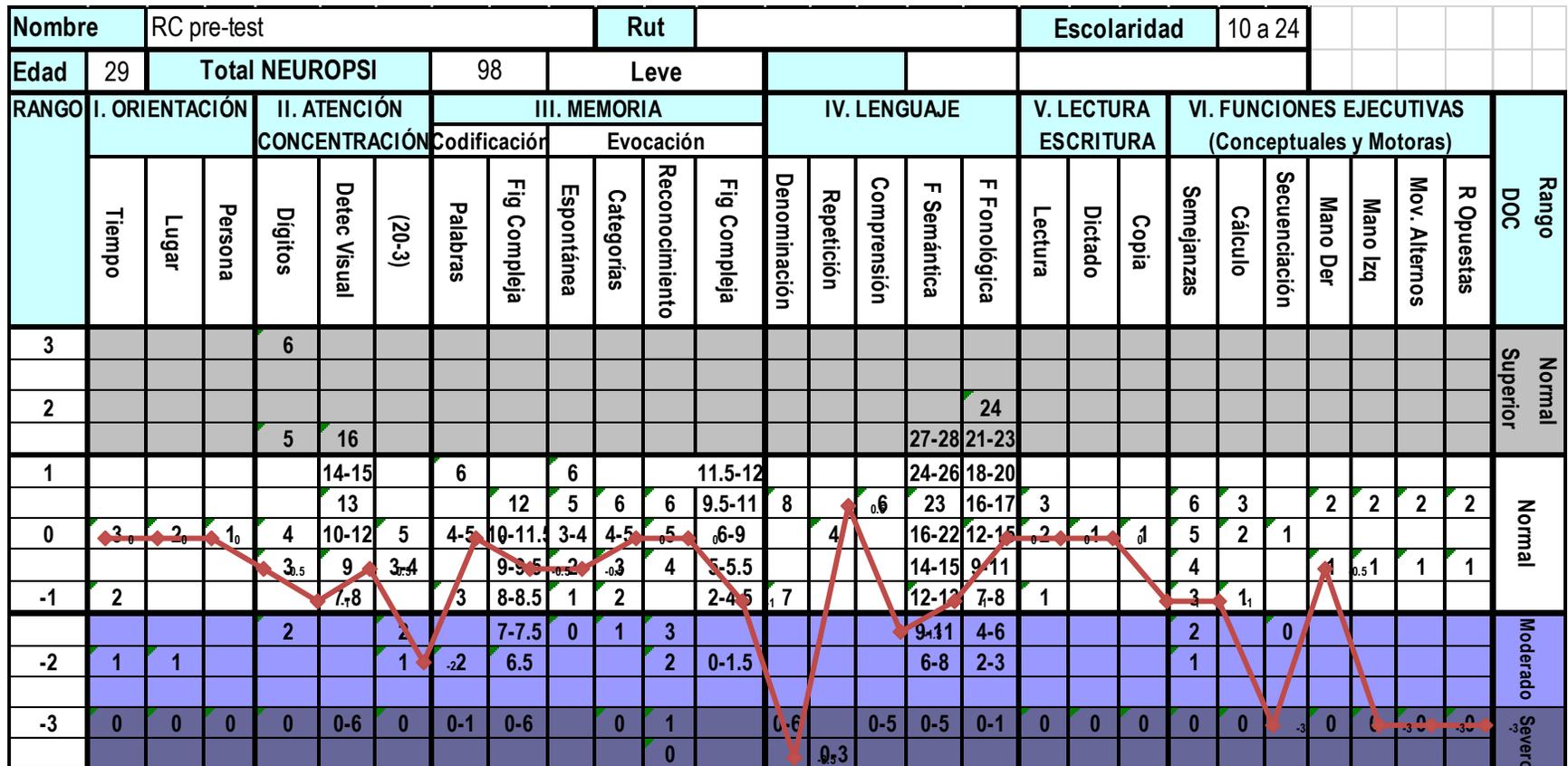
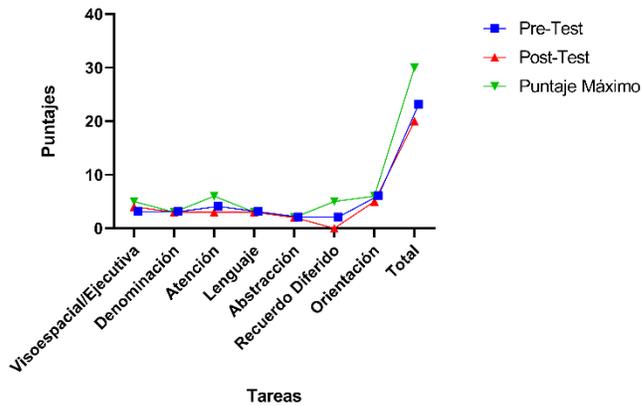
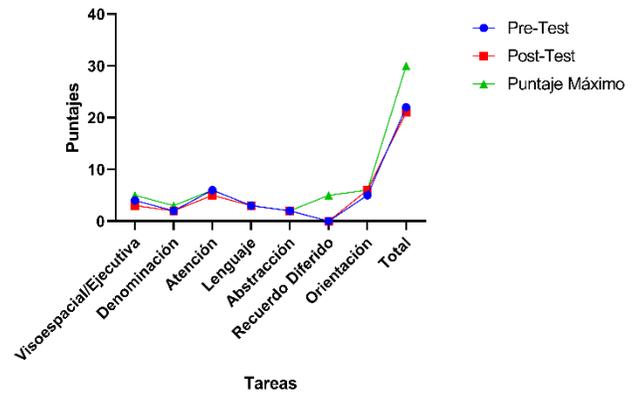


Figura 3. Perfil pre-test de NEUROPSI Breve en español del participante RC.





**Figura 5.** Resultados de la Evaluación Cognitiva de Montreal del participante AM. En el eje de las abscisas se pueden apreciar las tareas de la prueba, mientras que en el eje de las ordenadas los puntajes. Las diversas líneas indican el momento de evaluación y el puntaje máximo.



**Figura 6.** Resultados de la Evaluación Cognitiva de Montreal del participante RC. En el eje de las abscisas se pueden apreciar las tareas de la prueba, mientras que en el eje de las ordenadas los puntajes. Las diversas líneas indican el momento de evaluación y el puntaje máximo.

## 5.2 Efecto de la intervención sobre los procesos de atención.

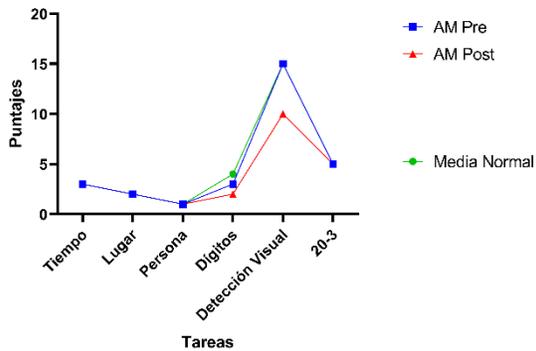
Para evaluar el efecto de la intervención apoyada en realidad virtual en los diversos procesos de atención, se realizaron diversas pruebas que evalúan este constructo antes y después de la intervención.

Aunque Ostrosky *et al.*, (1999) sitúan el concepto de orientación separado de atención, en este trabajo se entenderá este proceso como parte de la atención (Buschman y Kastner, 2015).

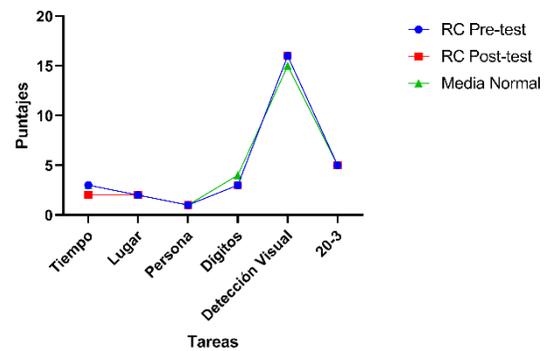
El efecto de la intervención en realidad virtual sobre los procesos atentos evaluados por la evaluación neuropsicológica breve en español (Ostrosky *et al.*, 1999) pueden observarse en las figuras 7 y 8. La figura 7 corresponde a los resultados del participante AM, mientras que la figura 8 reporta los resultados de RC.

Es posible observar que los resultados en el participante AM concuerdan con una población normal, a excepción del resultado en detección visual post-test, donde se nota un decremento en las puntuaciones; por su parte, el participante

RC muestra resultados normales, excepto una disminución en el puntaje “tiempo” en la evaluación después de la intervención.

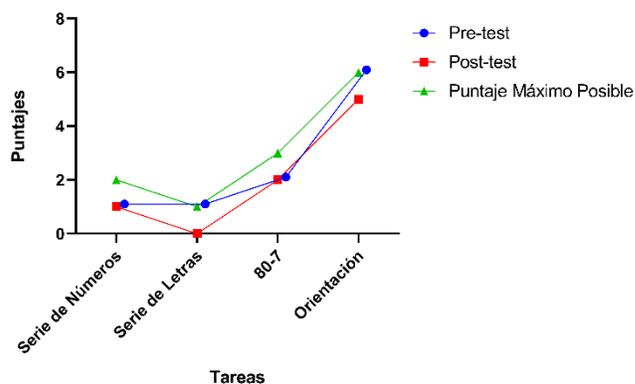


**Figura 7.** Resultados en tareas de atención de la prueba NEUROPSI en el participante AM. En el eje de las abscisas se pueden apreciar las sub-pruebas, mientras que en el eje de las ordenadas los puntajes. Las diversas líneas indican el momento de evaluación y el puntaje en población normal.

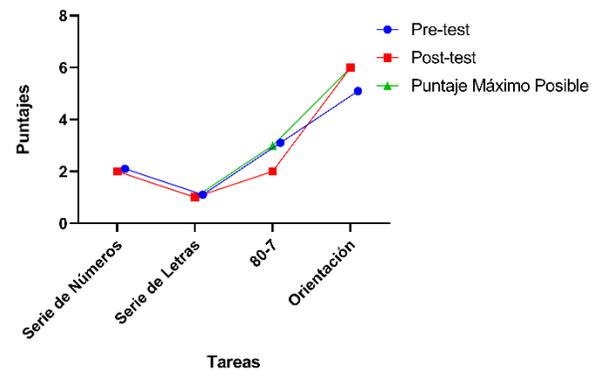


**Figura 8.** Resultados en tareas de atención de la prueba NEUROPSI en el participante RC. En el eje de las abscisas se pueden apreciar las sub-pruebas, mientras que en el eje de las ordenadas los puntajes. Las diversas líneas indican el momento de evaluación y el puntaje en población normal.

En la evaluación cognitiva de Montreal también se encuentran tareas que requieren procesos de atención, y los resultados de ambos participantes se encuentran en las figuras 9 y 10.



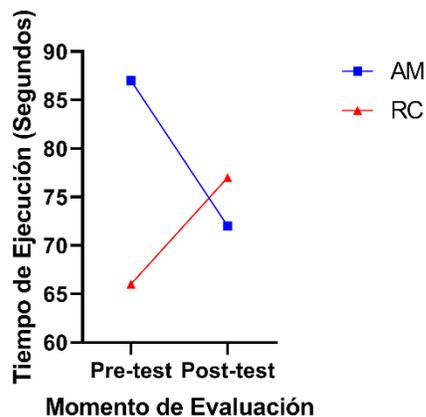
**Figura 9.** Resultados en tareas de atención de la prueba MoCA en el participante AM. En el eje de las abscisas se pueden apreciar las sub-pruebas, mientras que en el eje de las ordenadas los puntajes. Las diversas líneas indican el momento de evaluación y el puntaje máximo posible.



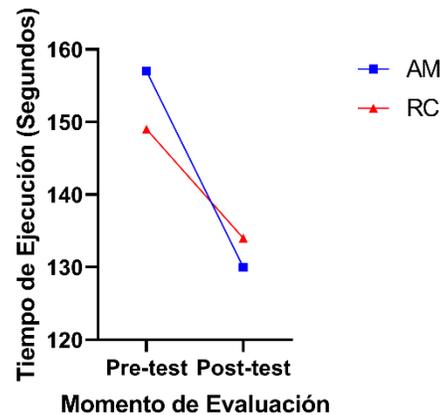
**Figura 10.** Resultados en tareas de atención de la prueba MoCA en el participante RC. En el eje de las abscisas se pueden apreciar las sub-pruebas, mientras que en el eje de las ordenadas los puntajes. Las diversas líneas indican el momento de evaluación y el puntaje máximo posible.

El participante AM mostró un decremento en la tarea serie de letras después de la intervención y en la tarea de orientación. Por otra parte, el participante RC mostró una mejora post-test en la misma tarea de orientación.

D'Elia y Satz (2000) desarrollaron una prueba para medir atención sostenida y atención dividida. Esta prueba, *Color Trails Test* fue utilizada antes y después de la intervención y toma como medición principal el tiempo de ejecución de los participantes, así como su número de errores. En las figuras 11 y 12 se puede observar el desempeño de los participantes en la parte 1 y parte 2 de la prueba.



**Figura 11.** Resultados de ambos participantes en la prueba *Color Trails Test 1* (Atención Sostenida). En el eje de las abscisas encontramos el momento de evaluación, mientras que en el eje de las ordenadas el tiempo de ejecución en segundos. Las líneas coloreadas indican al participante.

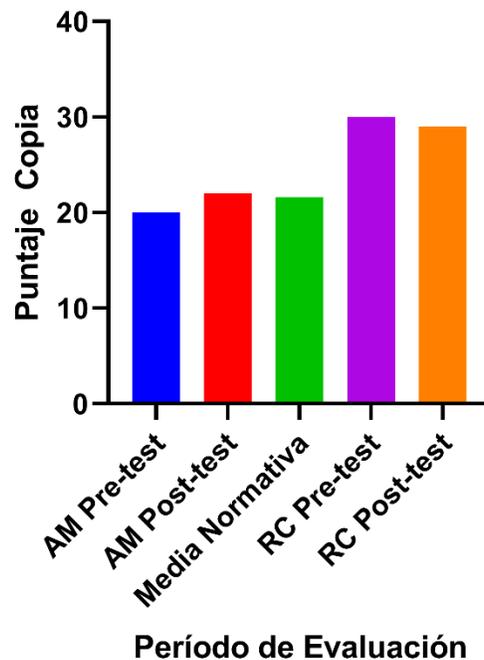


**Figura 12.** Resultados de ambos participantes en la prueba *Color Trails Test 2* (Atención Dividida). En el eje de las abscisas encontramos el momento de evaluación, mientras que en el eje de las ordenadas el tiempo de ejecución en segundos. Las líneas coloreadas indican al participante.

Con respecto a atención sostenida, se encontró que el participante AM disminuyó su tiempo de ejecución con respecto a su primera evaluación, mientras que el participante RC aumentó su tiempo de ejecución; por otro lado, en atención dividida, se observa un decremento en los tiempos de ejecución de ambos participantes. Ninguno de los participantes tuvo errores en el desempeño o advertencias por parte del evaluador.

Finalmente, se utilizó el test de la figura compleja de Rey-Osterrieth para evaluar también atención sostenida (Rey, 2009) y se comparó con datos

normativos en población mexicana (Cortés, Galindo, Villa y Salvador, 1996). Estos resultados pueden ser observados en la figura 13. El participante AM presentó una mejora con respecto al período pre-test, mientras que el participante RC muestra una disminución de magnitud inversa después de la intervención. No obstante, en ambos momentos de intervención ambos participantes se encontraron dentro de la media normativa para su rango de edad, de acuerdo con lo establecido por Cortés *et al.* (1996).

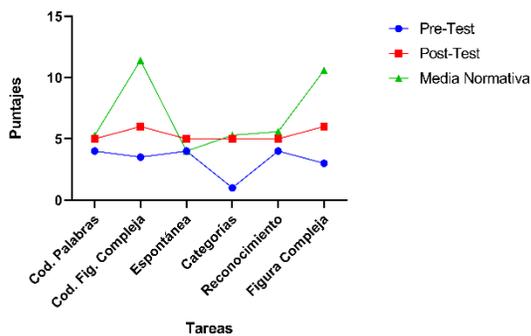


**Figura 13.** Resultados del proceso de copia de la Figura Compleja de Rey. En el eje de las abscisas encontramos el momento de evaluación y la media normativa en población sana, mientras que en el eje de las ordenadas el puntaje asignado.

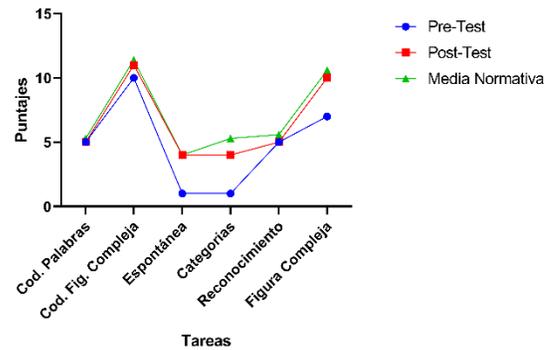
### 5.3 Efecto de la intervención sobre los procesos de memoria.

Otro de los objetivos específicos de la presente intervención se basa en evaluar el efecto de la plataforma de rehabilitación apoyada en realidad virtual sobre los procesos de memoria. Para ello, diversas sub-pruebas y pruebas de memoria fueron empleadas.

En las figuras 14 y 15 se presentan los resultados de las sub-pruebas de memoria de la evaluación neuropsicológica breve en español (Ostrosky *et al.*, 1999).



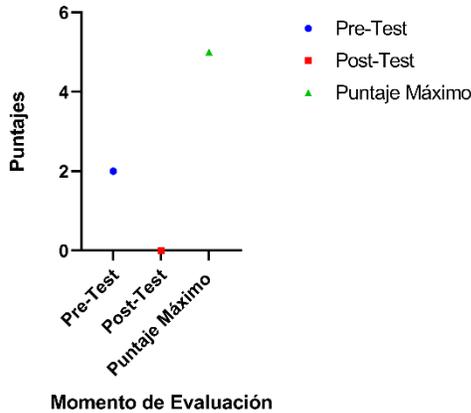
**Figura 14.** Resultados en tareas de memoria de la prueba NEUROPSI en el participante AM. En el eje de las abscisas se pueden apreciar las sub-pruebas, mientras que en el eje de las ordenadas los puntajes. Las diversas líneas indican el momento de evaluación y el puntaje en población normal.



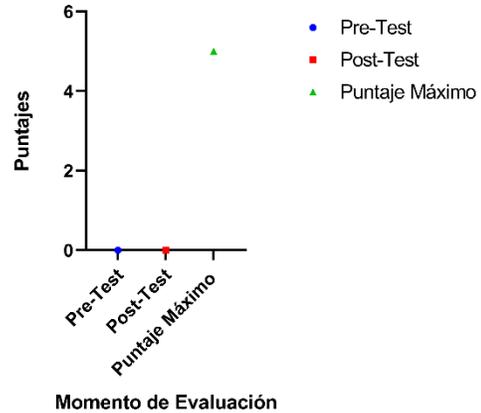
**Figura 15.** Resultados en tareas de memoria de la prueba NEUROPSI en el participante RC. En el eje de las abscisas se pueden apreciar las sub-pruebas, mientras que en el eje de las ordenadas los puntajes. Las diversas líneas indican el momento de evaluación y el puntaje en población normal.

De manera general, el desempeño de los participantes fue superior en las tareas de codificación y evocación de la prueba NEUROPSI en la evaluación realizada después de la intervención. Se puede observar que en categorías como codificación de palabras, evocación espontánea y reconocimiento, su desempeño es igual al desempeño medio de una población sana.

De forma contrastante, en las tareas de recuerdo diferido en la sub-prueba de memoria de la Evaluación Cognitiva de Montreal, es posible observar en las figuras 16 y 17 que no se encontraron puntajes de mejora. El participante AM mostró una disminución total, mientras que el participante RC en ambos momentos de evaluación registró un puntaje de cero puntos, siendo cinco el puntaje máximo esperado.

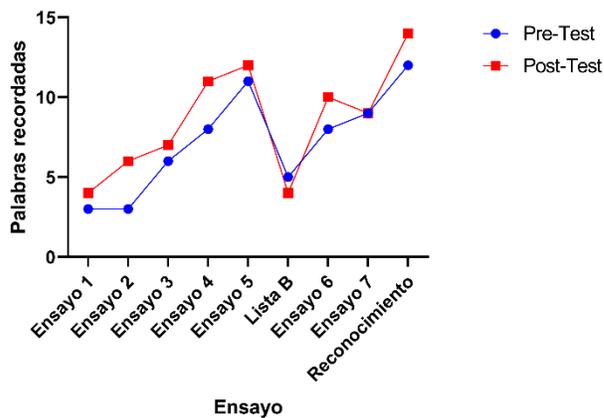


**Figura 16.** Resultados en recuerdo diferido de la prueba MoCA en el participante AM. En el eje de las abscisas se muestran los momentos de evaluación, y los puntajes obtenidos en el eje de las ordenadas. Las claves se presentan del lado derecho.

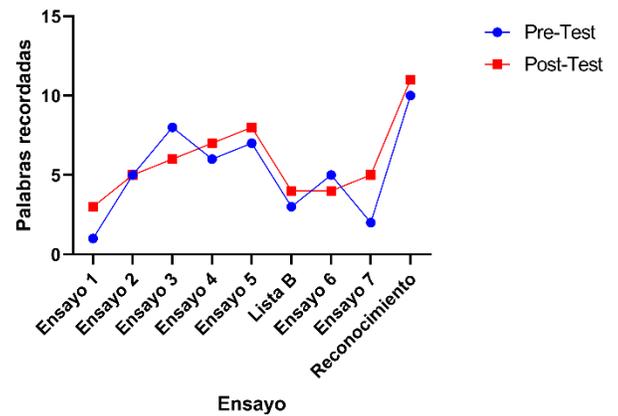


**Figura 17.** Resultados en recuerdo diferido de la prueba MoCA en el participante RC. En el eje de las abscisas se muestran los momentos de evaluación, y los puntajes obtenidos en el eje de las ordenadas. Las claves se presentan del lado derecho.

En las figuras 18 y 19 se pueden observar los resultados del test de aprendizaje auditivo verbal de Rey para evaluar los procesos de codificación y evocación antes y después de la intervención en realidad virtual.



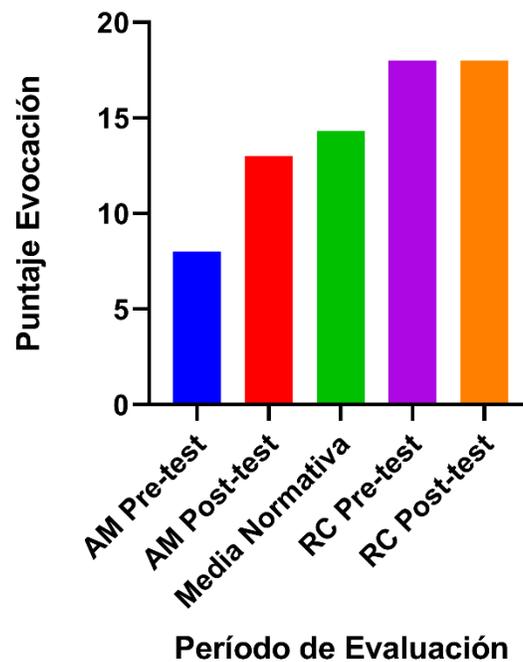
**Figura 18.** Resultados del test de aprendizaje auditivo verbal de Rey en el participante AM. En el eje de las abscisas se muestra cada ensayo requerido por la prueba, mientras que en el eje de las ordenadas se expresa el número de palabras recordadas.



**Figura 19.** Resultados del test de aprendizaje auditivo verbal de Rey en el participante RC. En el eje de las abscisas se muestra cada ensayo requerido por la prueba, mientras que en el eje de las ordenadas se expresa el número de palabras recordadas.

Ambos participantes mejoraron sus puntajes con respecto a la primera evaluación, siendo el participante AM quien mostró un aumento más notorio en sus puntajes.

Finalmente, se utilizaron los puntajes de evocación de la figura compleja de Rey-Osterrieth como último indicador de memoria. En la figura 20 se pueden observar los resultados de ambos participantes. Tanto en la situación pre-intervención, como post-intervención, el participante RM se desempeñó por encima de la media normativa en una población sana (Cortés *et al.*, 1996), mientras que el participante AM mejoró considerablemente, acercándose a la media normativa.



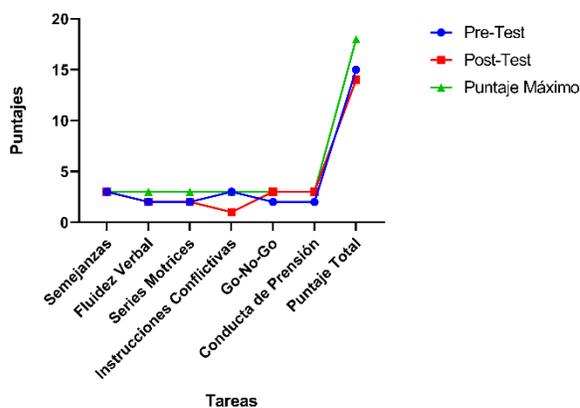
**Figura 20.** Resultados del proceso de evocación de la Figura Compleja de Rey. En el eje de las abscisas se encuentra el momento de evaluación y la media normativa en población sana, mientras que en el eje de las ordenadas el puntaje asignado.

#### 5.4 Efecto de la intervención sobre las funciones ejecutivas.

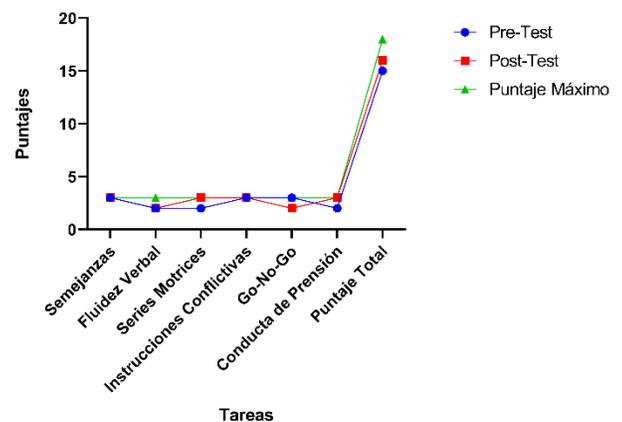
La evaluación del efecto de una intervención basada en realidad virtual sobre la cognición de participantes con traumatismo cráneo-encefálico grave continuó con el análisis de las funciones ejecutivas en los dos participantes.

Dicho análisis incluyó: evaluación general de funciones ejecutivas, memoria de trabajo, flexibilidad cognitiva, entre otros, presentados a continuación.

En las figuras 21 y 22 se pueden observar los resultados obtenidos en la batería de evaluación frontal (Dubois *et al.*, 2000) antes y después de la intervención, en los participantes AM y RC respectivamente.



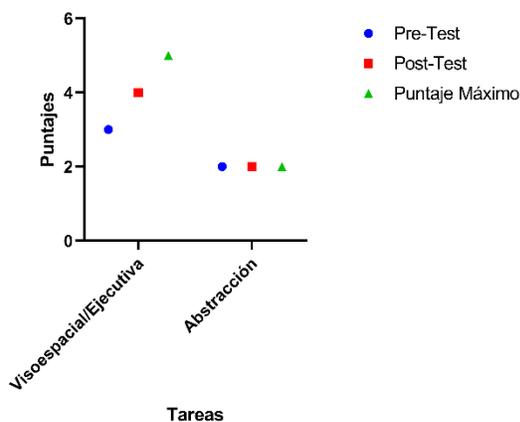
**Figura 21.** Resultados de la batería de evaluación frontal en el participante AM. En el eje de las abscisas se muestra cada dimensión de la prueba, mientras que en el eje de las ordenadas se expresa el puntaje obtenido.



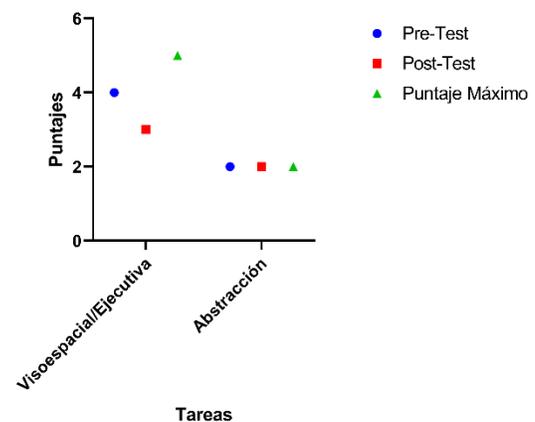
**Figura 22.** Resultados de la batería de evaluación frontal en el participante RC. En el eje de las abscisas se muestra cada dimensión de la prueba, mientras que en el eje de las ordenadas se expresa el puntaje obtenido.

En ambos momentos de intervención ambos participantes se situaron por debajo del puntaje máximo obtenible (18). AM presentó puntajes menores en su evaluación post-test en el apartado de instrucciones conflictivas, mientras que mejoró en tareas de inhibición (*go-no-go*). El desempeño del participante RC fue más estable y tuvo una mejora en series motrices y conducta de presión, haciéndolo obtener un puntaje superior en su post-test.

Los segundos puntajes utilizados para la evaluación de las funciones ejecutivas fueron obtenidos del apartado correspondiente en la evaluación cognitiva de Montreal (MoCA) (Ledesma, 2014). Estos resultados se presentan en las figuras 23 y 24. En el apartado de abstracción ambos participantes mantuvieron puntajes similares pre y post-intervención, y estos puntajes son los máximos posibles. Por otro lado, el participante AM mostró una mejora en su función visoespacial-ejecutiva, mientras que el participante RC puntuó menor en la evaluación subsecuente a la intervención.



**Figura 23.** Resultados de la batería de evaluación frontal en el participante AM. En el eje de las abscisas se muestra cada dimensión de las funciones ejecutivas evaluadas en MoCA, mientras que en el eje de las ordenadas se expresa el puntaje obtenido.

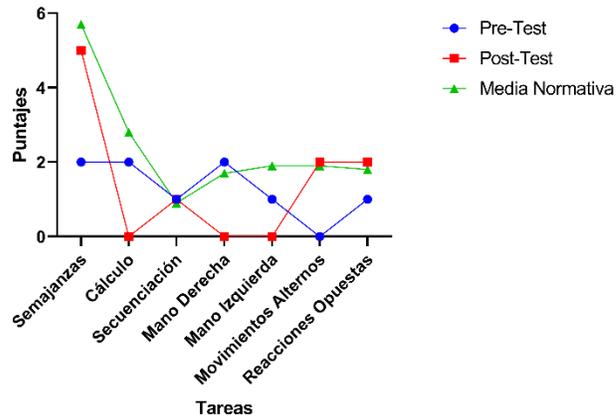


**Figura 24.** Resultados de la batería de evaluación frontal en el participante RC. En el eje de las abscisas se muestra cada dimensión de las funciones ejecutivas evaluadas en MoCA, mientras que en el eje de las ordenadas se expresa el puntaje obtenido.

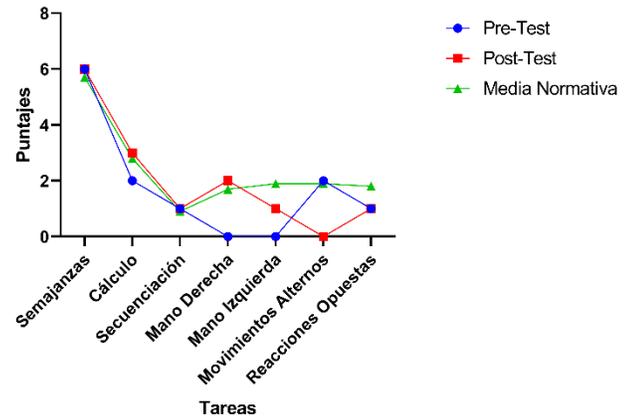
La evaluación neuropsicológica breve en español desarrollada por Ostrosky *et al.*, (1999) también ofrece puntajes indicativos del desempeño ejecutivo de una persona. En las figuras 25 y 26 se presentan los resultados correspondientes a los participantes.

AM (Figura 25) mostró un aumento considerable en el apartado de semejanzas, mientras que en cálculo disminuyó considerablemente con respecto a la evaluación pre-test. En movimientos realizados con su mano izquierda y derecha presentó puntajes inferiores, y repuntó en movimientos alternos y reacciones opuestas. RC, por su parte, mantuvo un puntaje más estable entre pre y post test, mejorando en cálculo, movimientos de mano derecha y mano

izquierda. Mientras que mostró una disminución en el puntaje de movimientos alternos (Figura 26).

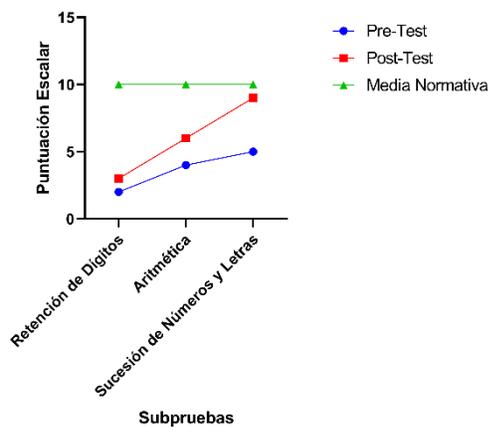


**Figura 25.** Resultados en las dimensiones de funciones ejecutivas (NEUROPSI) en el participante AM. En el eje de las abscisas se muestra cada dimensión de la prueba, mientras que en el eje de las ordenadas se expresa el puntaje obtenido.

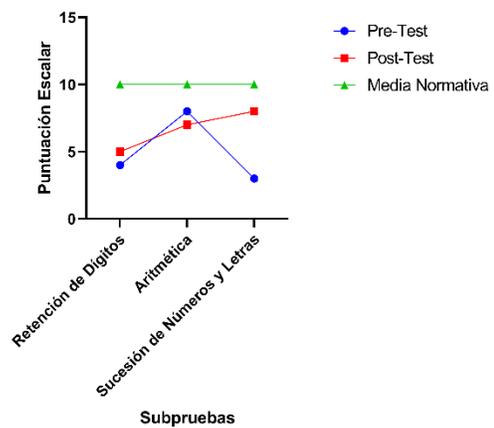


**Figura 26.** Resultados en las dimensiones de funciones ejecutivas (NEUROPSI) en el participante RC. En el eje de las abscisas se muestra cada dimensión de la prueba, mientras que en el eje de las ordenadas se expresa el puntaje obtenido.

Una función ejecutiva muy importante para el mantenimiento de la información es la memoria de trabajo (Diamond, 2013). Para evaluarla, fueron utilizadas las sub-pruebas de memoria de trabajo de la Escala Wechsler de Inteligencia para Adultos IV (Wechsler, 2014). En las figuras 27 y 28 se muestran los puntajes obtenidos por AM y RC.



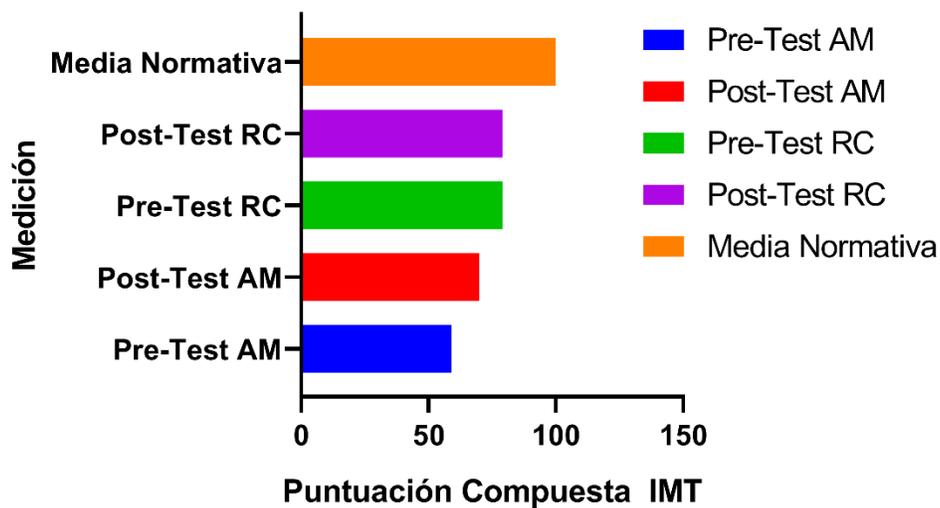
**Figura 27.** Resultados de las sub-pruebas de memoria de trabajo del participante AM. En el eje de las abscisas se muestra cada sub-prueba, mientras que en el eje de las ordenadas se expresa el puntaje escalar obtenido.



**Figura 28.** Resultados de las sub-pruebas de memoria de trabajo del participante RC. En el eje de las abscisas se muestra cada sub-prueba, mientras que en el eje de las ordenadas se expresa el puntaje escalar obtenido.

AM mejoró en las tres sub-pruebas que comprenden a las tareas de memoria de trabajo, siendo la sucesión de números y letras la tarea en donde se presentó su mejor desempeño. En la misma tarea RC mostró una mejora notable. No obstante, él disminuyó su puntaje en la prueba de aritmética al momento post-evaluación.

Las sub-pruebas de memoria de trabajo permiten también calcular un índice de memoria de trabajo (Wechsler, 2014), y éste se muestra en la figura 29.

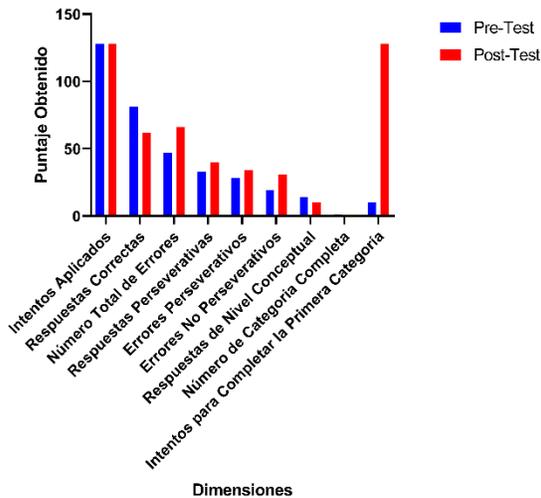


**Figura 29.** Índices de memoria de trabajo de AM y RC. En el eje de las abscisas se muestra la puntuación compuesta que da valor al índice, mientras que en el eje de las ordenadas se muestran los momentos de evaluación.

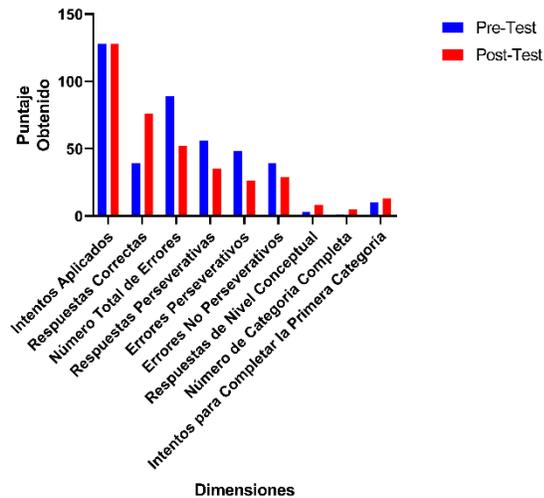
Una puntuación compuesta de 100 corresponde a la media normativa (Wechsler, 2014). AM mejoró con respecto a su puntaje inicial, pero aún se encuentra lejos de los puntajes medios. Por otra parte, RC se mantuvo estable antes y después de la evaluación, por debajo de la media normativa.

Otra función ejecutiva fundamental, de acuerdo con Diamond (2013) es la flexibilidad cognitiva. Ésta fue evaluada con el test de clasificación de tarjetas de Wisconsin (Heaton *et al.*, 2001). En las figuras 30 y 31 se observan los resultados obtenidos por los participantes en diversas dimensiones de la prueba antes y

después de la intervención. En todos los casos se realizaron los 128 ensayos máximos.



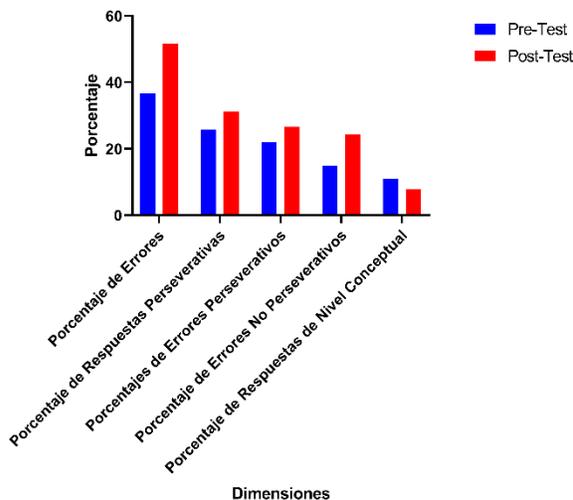
**Figura 30.** Diversos resultados de la prueba de clasificación de tarjetas de Wisconsin del participante AM. En el eje de las abscisas se muestra cada dimensión evaluada, mientras que en el eje de las ordenadas se expresa el puntaje obtenido.



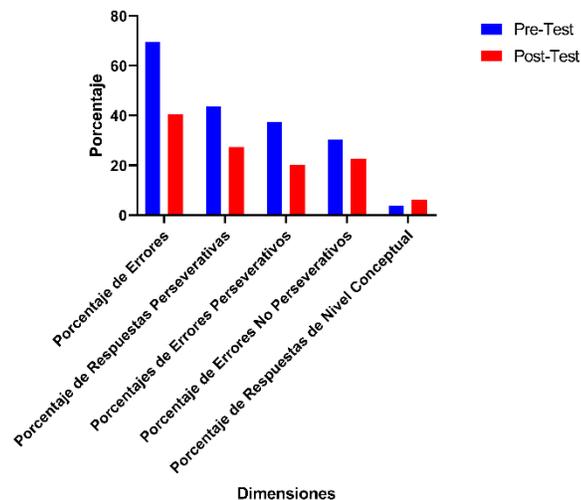
**Figura 31.** Diversos resultados de la prueba de clasificación de tarjetas de Wisconsin del participante RC. En el eje de las abscisas se muestra cada dimensión evaluada, mientras que en el eje de las ordenadas se expresa el puntaje obtenido.

El participante AM (Figura 30) mostró una disminución en sus respuestas correctas durante la segunda evaluación, así como un aumento en la perseveración de sus errores. RC (Figura 31), por otra parte, aumentó sus respuestas correctas y disminuyó la perseveración en sus respuestas.

Heaton *et al.* (2001) también permiten calcular los resultados de sus pruebas como porcentajes, y éstos se presentan en las figuras 32 y 33. Estos resultados reflejan la misma tendencia. AM (Figura 32) aumentó el porcentaje de sus respuestas equivocadas y perseverativas, mientras que RC (Figura 33) muestra un menor porcentaje de respuestas incorrectas y de perseveraciones al terminar la intervención.



**Figura 32.** Porcentajes en la prueba de clasificación de tarjetas de Wisconsin del participante AM. En el eje de las abscisas se muestra cada dimensión evaluada, mientras que en el eje de las ordenadas se muestra el porcentaje obtenido entre la dimensión y el número total de respuestas (128).

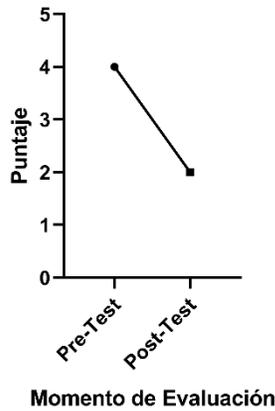


**Figura 33.** Porcentajes en la prueba de clasificación de tarjetas de Wisconsin del participante RC. En el eje de las abscisas se muestra cada dimensión evaluada, mientras que en el eje de las ordenadas se muestra el porcentaje obtenido entre la dimensión y el número total de respuestas (128).

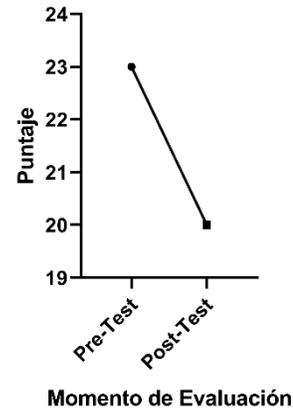
## 5.5 Efecto de la intervención sobre el estado anímico.

Un traumatismo cráneo-encefálico también puede afectar el estado anímico de un individuo (Jorge y Arciniegas, 2014). La presente investigación también analizó el efecto de la intervención en realidad virtual sobre el estado anímico de los participantes.

En las figuras 34 y 35 se muestran los resultados del inventario de depresión de Beck (Jurado *et al.*, 1998) que evalúa sintomatología depresiva. Ambos participantes disminuyeron sus niveles de sintomatología depresiva. AM presentó puntajes muy bajos. Por otra parte, aunque RC se mantuvo dentro del rango de sintomatología depresiva moderada, tuvo un decremento en el puntaje al finalizar las sesiones de intervención.

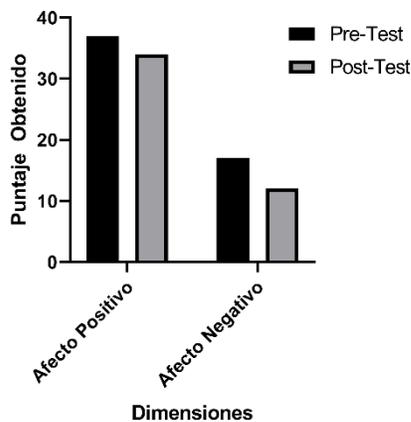


**Figura 34.** Resultados del Inventario de Depresión de Beck en el participante AM. En el eje de las abscisas se encuentran los momentos de evaluación, mientras que en el eje de las ordenadas el puntaje obtenido.

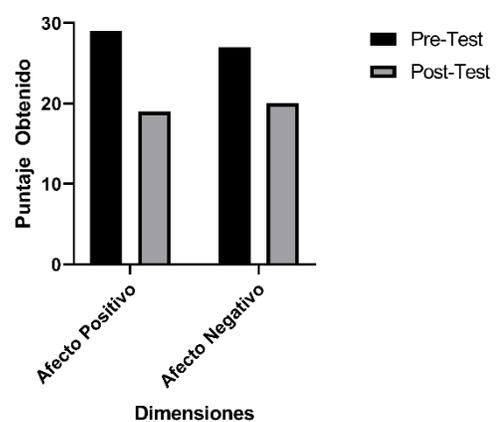


**Figura 35.** Resultados del Inventario de Depresión de Beck en el participante RC. En el eje de las abscisas se encuentran los momentos de evaluación, mientras que en el eje de las ordenadas el puntaje obtenido.

Otro instrumento utilizado fue la escala de afecto positivo y negativo (Moral de la Rubia, 2011) que estima la valencia positiva y negativa de los estados afectivos. En las figuras 36 y 37 se observan los resultados de esta prueba.



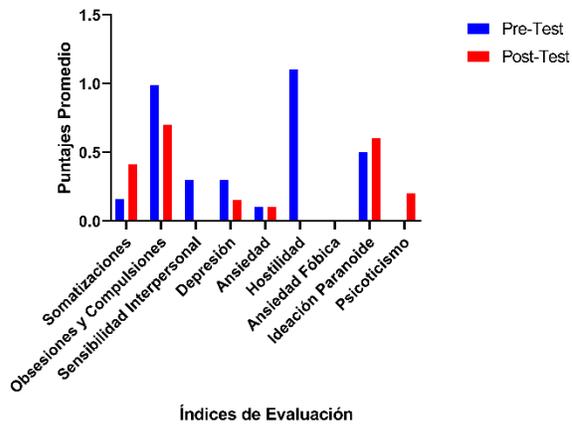
**Figura 36.** Resultados la escala de afectos positivos y negativos en el participante AM. En el eje de las abscisas se encuentran las dimensiones evaluadas, mientras que en el eje de las ordenadas el puntaje obtenido.



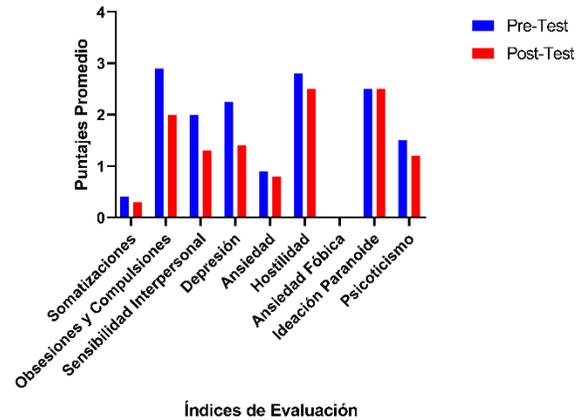
**Figura 37.** Resultados la escala de afectos positivos y negativos en el participante RC. En el eje de las abscisas se encuentran las dimensiones evaluadas, mientras que en el eje de las ordenadas el puntaje obtenido.

Ambos participantes muestran una disminución en sus puntajes después de la intervención, tanto para afectos positivos como para afectos negativos. En RC se observa una disminución más pronunciada.

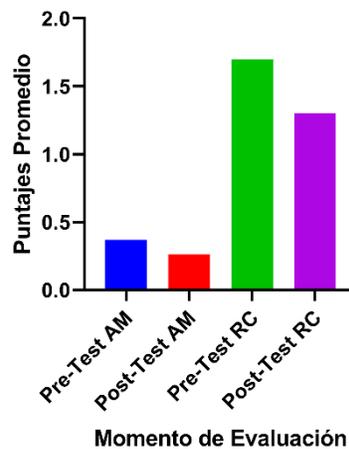
Finalmente, se utilizó el Inventario de Síntomas SCL 90-R (Derogatis, 2002) que evalúa diversas dimensiones de malestar psicológico. En las figuras 38 y 39 se presentan los resultados antes y después de la intervención sobre estos dominios. Estos puntajes se calculan haciendo un puntaje promedio por cada dimensión. La prueba también permite calcular un índice global de severidad (Derogatis, 2002) y éste se presenta en la figura 40.



**Figura 38.** Resultados por cada dimensión del SCL 90-R del participante AM. En el eje de las abscisas se encuentran las dimensiones evaluadas, mientras que en el eje de las ordenadas el puntaje promedio obtenido.



**Figura 39.** Resultados por cada dimensión del SCL 90-R del participante RC. En el eje de las abscisas se encuentran las dimensiones evaluadas, mientras que en el eje de las ordenadas el puntaje promedio obtenido.

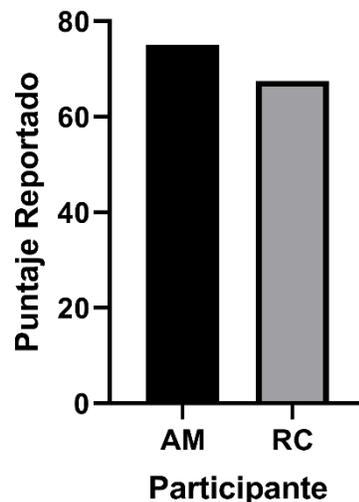


**Figura 40.** Índice Global de Severidad de ambos participantes en el inventario SCL 90-R. En el eje de las abscisas se encuentran los momentos de evaluación, mientras que en el eje de las ordenadas el puntaje promedio obtenido.

En lo general, ambos participantes mostraron una disminución de la intensidad de la molestia de diversos síntomas. Sorpresivamente, el participante AM reportó más somatizaciones durante la evaluación post-test. Con respecto al índice global de severidad (Figura 40) ambos participantes muestran una disminución en la severidad, siendo RC quien muestra resultados más pronunciados tanto antes como después de la evaluación.

### 5.6 Usabilidad del Sistema.

Con el fin de explorar qué tan amigable es la interfaz del sistema y sus controles de navegación para los usuarios, se utilizó la escala de usabilidad del sistema desarrollada por Brooke (1996). Los resultados se presentan en la figura 41. AM encontró el sistema más *usable* que RC. No obstante, las diferencias no son pronunciadas. De acuerdo con Brooke (1996) puntajes por encima de 68 se consideran arriba del promedio de usabilidad.



**Figura 41.** Resultados de ambos participantes en la Escala de Usabilidad del Sistema. En el eje de las abscisas se encuentran los participantes, mientras que en el eje de las ordenadas el puntaje obtenido.

## 5.7 Cambio confiable y significancia clínica.

Para evaluar qué tan confiables fueron los cambios presentados en cada prueba entre el período pre-test y el período post-test, así como la significancia clínica que tienen estos resultados para la vida de los participantes. La significancia clínica permite a los investigadores y clínicos realizar un análisis personalizado de cada participante, observando la variabilidad de sus puntajes en dos puntos determinados de tiempo (Gómez Penedo y Roussos, 2012).

Para ello, se utilizó el método de propuesto por Jacobson y Truax (1991), para ello es necesario primero establecer un punto de corte. Esto permite observar si el participante puede aproximarse más a una media de un grupo *funcional* mientras se distancia del grupo *disfuncional*. Por otra parte, se calcula un índice de confiabilidad del cambio (ICC) que determina la fuerza estadística del cambio. De acuerdo con su método que toma a consideración el error estándar del instrumento de evaluación y la confiabilidad test-retest del mismo, un ICC superior o igual a 1.96, o inferior o igual a -1.96 (dependiendo si la mejora se refleja como aumento o decremento de puntaje), es suficiente para considerar que el cambio es real siendo improbable que se deba al azar (Gómez Penedo y Roussos, 2012).

Las diferencias que se muestran como cambio confiable y/o clínicamente significativas se presentarán en las tablas siguientes. La tabla 2 muestra estos elementos en cada tarea de la evaluación neuropsicológica breve en español NEUROPSI (Ostrosky *et al.*, 1999). Ambos participantes presentan un cambio clínico y significativo en el puntaje total de la prueba.

La tabla 3 muestra resultados obtenidos en la prueba de la Figura Compleja de Rey-Osterrieth (Rey, 2009). AM presenta un cambio muy importante en la evocación de la figura, con un cambio clínico cuya confianza es de un 99%. Por otra parte, la tabla 4 muestra el promedio de palabras aprendidas en los ensayos del aprendizaje verbal auditivo de Rey (Sánchez-Nieto *et al.*, 2016) sin cambios significativos en el participante RC y un cambio poco significativo (68% de confianza) en AM.

Con respecto a los cambios en la memoria de trabajo, como puede observarse en la tabla 5, AM presenta un cambio en el índice de memoria de trabajo de la prueba WAIS IV (Wechsler, 2014) altamente significativo, mientras que RM no presenta cambio alguno.

**Tabla 2.** Índice de cambio confiable y cambio clínico en la evaluación Neuropsicológica Breve en español (NEUROPSI).

	Orientación			Atención y Concentración			Memoria						Lenguaje				
	Tiem- po	Lu- gar	Perso- na	Dígi- tos	D. Visual	20 menos 3	Codificación	Fig. Com.	Espon-tá- nea	Catego- rías	Re- con.	Fig. Comp.	Denomi- nación	Repe- tición	Com- prensión	F Semán- tica	F Fonoló- gica
<b>AM</b>																	
Pre	3	2	1	3	15	5	4	3.5	4	1	4	3	8	4	6	21	9
Post	3	2	1	2	10 <sup>***</sup>	5	5	6	5 <sup>*</sup>	5 <sup>°***</sup>	5 <sup>°***</sup>	6 <sup>**</sup>	8	4	6	23	9
<b>RC</b>																	
Pre	3	2	1	3	16	5	5	10	1	1	5	7	8	4	6	16	11
Post	2 <sup>***</sup>	2	1	3	16	5	5	11	4 <sup>°***</sup>	4 <sup>°***</sup>	5	10	8	4	6	22 <sup>*</sup>	9 <sup>*</sup>

**Cont. Tabla 2.** Índice de cambio confiable y cambio clínico en la evaluación Neuropsicológica Breve en español (NEUROPSI).

	Lectura Escritura				Funciones Ejecutivas (Conceptuales y Motoras)						Total	
	Lectura	Dictado	Copia	Semejanzas	Cálculo	Secuenciación	Mano Derecha	Mano Izquierda	Mov. Alt.	R. Op.		
<b>AM</b>												
Pre		3	1	1	2	2	1	2	1	0	1	85.5
Post		3	1	1	5 <sup>°***</sup>	0 <sup>***</sup>	1	0 <sup>***</sup>	0 <sup>**</sup>	2 <sup>°***</sup>	2 <sup>°***</sup>	93 <sup>°***</sup>
<b>RC</b>												
Pre		3	1	1	6	2	1	0	0	2	1	98
Post		3	1	1	6	3 <sup>**</sup>	1	2 <sup>°***</sup>	1 <sup>**</sup>	0 <sup>***</sup>	1	110 <sup>°***</sup>

NOTA: ° Indica que el cambio es clínicamente significativo; \* Indica que el cambio posee un 68.26% de confianza, \*\* Indica que el cambio tiene un 95% de confianza, \*\*\* indica que el cambio tiene un 99% de confianza.

**Tabla 3.** Índice de cambio confiable y cambio clínico en la prueba de la Figura Compleja de Rey-Osterrieth

	Copia	Evocación
<b>AM</b>		
Pre	20	8
Post	22	13 <sup>° ***</sup>
<b>RC</b>		
Pre	30	7
Post	29	10*

NOTA: ° Indica que el cambio es clínicamente significativo; \* Indica que el cambio posee un 68.26% de confianza, \*\* Indica que el cambio tiene un 95% de confianza, \*\*\* indica que el cambio tiene un 99% de confianza.

**Tabla 5.** Índice de cambio confiable y cambio clínico sobre el índice de memoria de trabajo de WAIS-IV.

	Índice de Memoria de Trabajo
<b>AM</b>	
Pre	59
Post	70 <sup>***</sup>
<b>RC</b>	
Pre	79
Post	79

NOTA: ° Indica que el cambio es clínicamente significativo; \* Indica que el cambio posee un 68.26% de confianza, \*\* Indica que el cambio tiene un 95% de confianza, \*\*\* indica que el cambio tiene un 99% de confianza.

**Tabla 4.** Índice de cambio confiable y cambio clínico en la prueba de aprendizaje verbal auditivo de Rey.

	Promedio de Palabras
<b>AM</b>	
Pre	6.2
Post	8*
<b>RC</b>	
Pre	5.4
Post	5.8

NOTA: ° Indica que el cambio es clínicamente significativo; \* Indica que el cambio posee un 68.26% de confianza, \*\* Indica que el cambio tiene un 95% de confianza, \*\*\* indica que el cambio tiene un 99% de confianza.

En la tabla 6 se muestran los resultados de la prueba de clasificación de cartas de Wisconsin (Heaton *et al.*, 2001) junto a los indicadores de cambio confiable y cambio clínico. Ninguno de los participantes presenta un cambio significativo ni clínico en las medidas presentadas. RC presenta un cambio negativo con una confianza de 68%.

**Tabla 6.** Índice de cambio confiable y cambio clínico en las puntuaciones típicas de la prueba de clasificación de tarjetas de Wisconsin.

	Total de Errores	Errores Perseverativos	Errores No Perseverativos	Respuestas Perseverativas
<b>AM</b>				
Pre	76	68	85	67
Post	64	60	79	60
<b>RC</b>				
Pre	55	55	66	55
Post	72*	70*	75	65

NOTA: ° Indica que el cambio es clínicamente significativo; \* Indica que el cambio posee un 68.26% de confianza, \*\* Indica que el cambio tiene un 95% de confianza, \*\*\* indica que el cambio tiene un 99% de confianza.

De la tabla 7 a la 9 se presentan los resultados con respecto a estos indicadores sobre pruebas del estado anímico. En la tabla 7 se pueden observar los cambios significativos (99% de confianza) en el inventario de depresión de Beck (Jurado *et al.*, 1998) tanto para AM como para RC.

**Tabla 7.** Índice de cambio confiable y cambio clínico en el Inventario de Depresión de Beck.

	Puntuación BDI
<b>AM</b>	
Pre	4
Post	2***
<b>RC</b>	
Pre	23
Post	20***

NOTA: ° Indica que el cambio es clínicamente significativo; \* Indica que el cambio posee un 68.26% de confianza, \*\* Indica que el cambio tiene un 95% de confianza, \*\*\* indica que el cambio tiene un 99% de confianza.

La tabla 8 presenta los cambios en la escala de afecto positivo y negativo (PANAS) (Moral de la Rubia, 2011) antes y después de la intervención en AM y RC. Para ambos participantes los resultados, tanto para los afectos positivos como negativos resultaron tener una confianza de 99%. No obstante, ninguno de estos cambios fue de carácter clínico.

**Tabla 8.** *Índice de cambio confiable y cambio clínico en la escala de afecto positivo y negativo (PANAS).*

	Afecto Positivo	Afecto Negativo
<b>AM</b>		
Pre	37	17
Post	34 <sup>***</sup>	12 <sup>***</sup>
<b>RC</b>		
Pre	29	27
Post	19 <sup>***</sup>	20 <sup>***</sup>

*NOTA:* ° Indica que el cambio es clínicamente significativo; \* Indica que el cambio posee un 68.26% de confianza, \*\* Indica que el cambio tiene un 95% de confianza, \*\*\* indica que el cambio tiene un 99% de confianza.

Por último, la tabla 9 muestra el cambio entre las medidas antes y después de la intervención con realidad virtual en el Inventario de Síntomas SCL 90-R (Derogatis, 2002) en ambos participantes. Únicamente AM presentó dos cambios significativos. Una disminución de los síntomas de hostilidad (68% de confianza) y un aumento en los síntomas de psicoticismo (99% de confianza). RM, por su parte, no presenta cambios significativos tras la intervención.

**Tabla 9.** Índice de cambio confiable y cambio clínico en los promedios del inventario de Síntomas SCL 90-R.

	Somatización	Obsesión y Compulsión	Sensibilidad Interpersonal	Depresión	Ansiedad
<b>AM</b>					
Pre	0.16	0.89	0.3	0.3	0.1
Post	0.41	0.7	0	0.15	0.1
<b>RC</b>					
Pre	0.41	2.9	2	2.23	0.9
Post	0.3	2	1.3	1.4	0.8

**Cont. Tabla 9.** Índice de cambio confiable y cambio clínico en los promedios del inventario de Síntomas SCL 90-R.

	Hostilidad	Ansiedad Fóbica	Paranoia	Psicoticismo	Índice de severidad global
<b>AM</b>					
Pre	1.16	0	0.5	0	0.37
Post	0*	0	0.6	0.2***	0.26
<b>RC</b>					
Pre	2.8	0	2.5	1.5	1.7
Post	2.5	0	2.5	1.2	1.3

NOTA: ° Indica que el cambio es clínicamente significativo; \* Indica que el cambio posee un 68.26% de confianza, \*\* Indica que el cambio tiene un 95% de confianza, \*\*\* indica que el cambio tiene un 99% de confianza.

## CAPÍTULO 6

### DISCUSIÓN.

El objetivo del presente trabajo de investigación fue dilucidar el efecto de una plataforma en realidad virtual para la rehabilitación de procesos cognitivos en dos personas adultas con un diagnóstico de traumatismo cráneo-encefálico grave, con deficiencias específicas en atención, memoria, funciones ejecutivas y el posible impacto de la misma sobre el estado anímico de los participantes.

Entre las tendencias actuales para la rehabilitación de pacientes con algún tipo de problema cognitivo se encuentra el uso de la realidad virtual (Morone, Girardi, Chooshchy, Iosa y Paolucci, 2018). La tecnología en realidad virtual puede facilitar las actividades requeridas por los programas de rehabilitación, pero otorgando una experiencia más interesante o atractiva que incrementa la motivación de los participantes (Masseti *et al.*, 2018).

Los resultados de las evaluaciones previas a la intervención y posteriores a la misma de los dos participantes de esta investigación resaltan el carácter heterogéneo del traumatismo cráneo-encefálico (Rabinowitz y Levin, 2013). Aunque, por diagnóstico, ambos participantes pueden ser categorizados dentro del espectro de TCE grave, ambos presentan puntajes diversos y mejoras en ámbitos diferentes tras la intervención. Esto es consistente con el patrón heterogéneo de recuperación cognitiva señalado por O'Brien, Metcalf y Batchelor (2019). Estos investigadores resaltan que no existen trayectorias fijas de recuperación cognitiva tras un traumatismo cráneo-encefálico, por lo cual no es posible esperar recuperaciones generalizables para todos los pacientes. No obstante, dentro de ciertos períodos, algunos factores favorecen la recuperación. Entre estos factores se encuentran la edad, que la rehabilitación ocurra durante el primer año después de la lesión y el sexo (O'Brien *et al.*, 2019). Dado lo anterior, los participantes en esta investigación poseen características intrínsecas muy similares entre sí.

## **6.1 Diferencias en el funcionamiento cognitivo general.**

En línea con intervenciones basadas en realidad virtual para mejorar procesos cognitivos (Gamito *et al.*, 2015; Shin y Kim, 2015; Manivannan *et al.*, 2019), los puntajes totales en la evaluación NEUROPSI, indican un cambio confiable para ambos participantes ( $p < 0.001$ ) y un cambio clínico. El puntaje inicial del participante AM lo situaba en el grupo de daño severo, y tras la intervención se sitúa en daño moderado. Por su parte, el participante RC pasó de la categoría de daño leve, a la categoría de normalidad. No obstante, estos cambios no se vieron reflejados en los puntajes generales de la evaluación cognitiva de Montreal. Es importante señalar que la prueba NEUROPSI consta de una cantidad mayor de reactivos que la evaluación MoCA, por tanto, en la segunda prueba existe un menor margen para que los cambios de la intervención puedan verse reflejados.

Para evaluar el efecto de la plataforma de realidad virtual sobre la cognición, se analizaron los datos por constructos específicos (atención, memoria, funciones ejecutivas y estado anímico).

## **6.2 Cambios en los procesos de atención.**

Diferentes procesos atencionales fueron evaluados para observar cambios derivados, entre los que destacan: orientación, detección, atención sostenida y atención dividida.

En cuanto a los apartados de orientación y atención/concentración determinados por la Evaluación Neuropsicológica Breve en Español (NEUROPSI), el participante AM mostró una disminución en sus puntajes de atención/concentración, en especial en el apartado de detección visual, con un cambio confiable y alejándose de la desviación estándar de la media de su grupo de comparación ( $p > .001$ ), por otra parte, el participante RC mantuvo un desempeño similar tanto en el pre-test como en el post-test.

Es importante señalar que, al cuestionarse acerca de la fecha (reactivo perteneciente al apartado de orientación del NEUROPSI) el participante RC no

supo contestar correctamente el día de la semana. Al contrastarse estos resultados con el mismo apartado de la Evaluación Cognitiva de Montreal, no se encuentran diferencias preocupantes con respecto a la orientación de la persona. En ningún otro apartado de estas dimensiones en la evaluación NEUROPSI se presentan cambios confiables o clínicamente significativos.

Con respecto a la evaluación cognitiva de Montreal, el participante AM puntuó menor en las tareas de atención, mientras que el participante RC mostró una mejora en la tarea de orientación.

Los reactivos de orientación son similares en naturaleza en ambas pruebas. No obstante, una explicación a las diferencias en los puntajes puede radicar en que las pruebas se aplicaron en sesiones de evaluación diferentes. NEUROPSI fue aplicada en la sesión 1 de post-evaluación, mientras que la Evaluación Cognitiva de Montreal fue aplicada en la sesión 2. Esto implica que una variabilidad del día con día podría estar implicada, así como una falta de motivación o frustración.

Los resultados de la prueba *color trails test* para atención sostenida muestra una disminución en el tiempo de ejecución del participante AM, mientras que un aumento de 10 segundos en el participante RC. No obstante, ninguno de los participantes presentó errores o advertencias. Con respecto a la segunda prueba, que evalúa atención dividida introduciendo interferencia, ambos participantes disminuyeron su tiempo de ejecución continuando sin presentar errores. Estas mejoras en atención dividida van en línea con resultados mostrados en una revisión realizada por Bogdanova *et al.*, (2015). Haciendo revisiones de la rehabilitación de memoria y atención en pacientes con TCE, encontraron que los pacientes diagnosticados con un TCE severo sometidos a procesos de rehabilitación de atención muestran mejoras significativas en atención dividida, resultados en línea con la disminución en los tiempos de reacción en la prueba *color trails test 2*. No obstante, la prueba de evaluación utilizada por ellos fue *trail making test*. La diferencia fundamental es que la prueba utilizada en el presente estudio utiliza colores junto a números y letras, y esto, de acuerdo con D'Elia y

Satz (2000) es para librar posibles sesgos culturales. Castellanos *et al.* (2016) realizaron una intervención de neurorehabilitación en pacientes TCE y también encontraron mejoras importantes en los tiempos de reacción en las tareas de atención.

Los resultados de atención sostenida para la copia de la figura compleja de Rey muestran que el paciente AM mostró una ligera mejora, superando los resultados de la media normativa, mientras que el participante RC se desempeñó ligeramente mejor durante los resultados pre-test que post-test. Ninguno de los cambios presentados en el proceso de copia fue de carácter clínico o confiable.

Otros estudios han mostrado resultados promisorios en las mejoras de los procesos de atención. Dymowski, Ponsford y Willmott (2016) evaluaron los efectos de un programa de rehabilitación cognitiva sobre procesos de atención. A diferencia de este trabajo, ellos encontraron una mejora en tareas de cancelación. En especial en un participante que comparte características similares con la muestra presentada anteriormente. Importante es resaltar que su muestra se encontraba por debajo de una media normativa en estas tareas, y en el presente estudio la muestra se encontró dentro de rangos normales para la tarea de detección visual.

### **6.3 Cambios en los procesos de memoria.**

La memoria es un sistema dinámico que se compone de varias unidades y se manifiesta de diferentes maneras para cubrir funciones específicas de un organismo (Henke, 2010). No obstante, en el presente trabajo de investigación se utilizó el recuerdo diferido como medida de memoria, ya que es un proceso dependiente de estructuras temporales y sus conexiones con otras áreas del sistema nervioso (De Simoni *et al.*, 2016), y la batería sistémica de Lisboa posee tareas de rehabilitación enfocadas a este ámbito.

Las puntuaciones de recuerdo diferido de la Evaluación Neuropsicológica Breve en Español, muestran que el participante AM mejoró recordando estímulos por categorías, reconocimiento de palabras y en la evocación al copiar una figura

semi-compleja. Tuvo un cambio confiable ( $p > .001$ ) y clínicamente significativo en la evocación por categorías y en el reconocimiento de las palabras aprendidas, y un cambio confiable y clínicamente significativo en la evocación de la figura ( $p > .05$ ). Por su parte, RC presentó un cambio confiable y clínicamente significativo en la evocación espontánea y por categorías ( $p > .001$ ).

El participante RC fue el único que presentó un cambio a mejor en la evocación espontánea, indicando que recordó las palabras con mayor facilidad tiempo después de la primera presentación. No obstante, los resultados indican que ambos participantes se benefician de las pistas o categorías de las palabras presentadas. Por lo tanto, a partir de estos procesos se pueden derivar estrategias que ayuden a los participantes a recordar mejor las cosas. Cicerone *et al.* (2011) señala la importancia de la enseñanza de estrategias para poder mejorar la capacidad para recordar estímulos, y Björkdahl *et al.* (2013) enfatizan en la necesidad de la repetición de los estímulos para poder lograr mejoras en la capacidad de retención.

La repetición de estímulos es vital en la tarea de aprendizaje verbal-auditivo de Rey. En esta prueba, AM logró recordar más palabras en su evaluación post-test a medida que avanzaban los ensayos, y esta tendencia se reflejó también en RC. Lo cual indica que ambos participantes se benefician de las repeticiones, estrategia propuesta por Björkdahl *et al.* (2013). Es importante señalar que, evaluando el promedio de las palabras recordadas, sólo el participante AM presentó un cambio con un 68.26% de confianza en este ámbito. De forma cuantitativa no se muestran diferencias significativas en esta prueba antes y después de la intervención, pero analizando ensayo por ensayo, observamos una tendencia creciente a recordar más palabras, como ocurre en una población normal (Delaney, Prevey, Cramer, Mattson y VA Epilepsy Cooperative Study #264, 1992).

Dado que la memoria no es únicamente recordar palabras en un carácter semántico/episódico, sino también consiste en la reproducción de información motora o habilidades no-verbales (Henke, 2010), los datos de evocación de una

figura compleja permiten también determinar qué tan capaz es un individuo de retener la forma de una figura al trazarla. En esta prueba AM obtuvo un puntaje mayor en el post-test y RC mantuvo su mismo puntaje en ambos momentos de evaluación. RC estaba por encima de la media normativa (Cortés *et al.*, 1996), mientras que AM se acercó más a ella. AM presentó un cambio confiable ( $p > .001$ ) y clínicamente significativo, mientras que RC alcanzó un cambio únicamente con un 68.26% de confianza sin alcanzar la significancia clínica.

Estos cambios permiten dilucidar una eficacia de la plataforma en la evocación no sólo de procesos semánticos o episódicos de memoria, sino también de elementos visuales y/o motores.

No obstante, y contrario a los resultados anteriores y a una de las hipótesis del presente trabajo, en la Evaluación Cognitiva de Montreal, cuyo apartado de recuerdo diferido también fue utilizado, no se observó la misma tendencia a la mejora. Por el contrario, el participante AM recordó cero estímulos en el post-test, al igual que RC que no recordó ningún estímulo en las evaluaciones pre y post-test. Importante es señalar que la Evaluación Cognitiva de Montreal es una prueba de tamizaje (Nasreddine *et al.*, 2005), por lo cual el ejercicio consta de muy pocas palabras y no profundiza en la tarea. Es digno de mención, por otra parte que, a diferencia de la prueba auditivo-verbal de Rey, aquí no hay repetición. Las palabras se presentan en un único ensayo y al poco tiempo se solicita la evocación. Puede ser que el proceso de codificación o consolidación, requeridos para el correcto funcionamiento de la memoria (Redondo y Morris, 2011) no funcionen adecuadamente. En efecto, en el proceso de codificación en la batería Neuropsicológica Breve en Español no se presentan mejoras después de la intervención. Aunque los resultados se sitúan dentro de la media, la prueba da mucho más tiempo para la evocación. Por lo tanto, no se puede descartar que sean problemas de consolidación y no de codificación, dado el breve espacio temporal en el que se aplica la evaluación cognitiva de Montreal.

#### 6.4 Cambios en el funcionamiento ejecutivo.

Para analizar el funcionamiento ejecutivo, se realizaron medidas de diferentes procesos ejecutivos señalados por Diamond (2013): Inhibición, memoria y flexibilidad cognitiva. Todo esto, bajo el supuesto de que a partir de las funciones anteriores se construyen procesos cognitivos de carácter superior.

Ambos participantes se situaron por debajo del puntaje máximo de la Batería de Evaluación Frontal (18) en los dos momentos de evaluación. El participante AM mejoró su puntaje en la tarea de inhibición, mientras que el participante RC no mostró este mismo cambio, pero sí en series motrices. La Batería de Evaluación Frontal originalmente fue diseñada para pacientes con trastornos neurodegenerativos (Hargrave, Nupp y Erickson, 2012). Sin embargo, Rojas *et al.* (2018) muestran que se puede utilizar para evaluar discapacidades ejecutivas en población con TCE. No obstante, señalan que puede no ser de utilidad para percibir diferencias en niveles de gravedad del traumatismo y sus efectos.

Derivado de esto, Rojas *et al.* (2018) hablan de lo limitada que es la variabilidad en el puntaje total del desempeño, lo cual explica por qué no se presentan cambios importantes entre el pre-test y el post-test. Puede ser que lo corto de la prueba y su sistema de calificación no permitan explorar a profundidad más elementos de las tareas que la componen.

En tareas visoespaciales de carácter ejecutivo provistas por la Evaluación Cognitiva de Montreal el desempeño de AM muestra una mejora y mantiene sus puntajes de abstracción sin cambios. RC presenta ese mismo resultado, pero con una disminución en el proceso visoespacial ejecutivo. El carácter breve de esta sección de la Evaluación Cognitiva de Montreal no permite explorar más a profundidad los constructos ejecutivos.

La evaluación NEUROPSI breve también contempla tareas de funcionamiento ejecutivo. En ellas, AM presenta un cambio clínico en la tarea de semejanzas con un 99% de confianza ( $p > .001$ ) lo cual indica un efecto de la

intervención sobre esta tarea en particular. No obstante, el puntaje en cálculo disminuyó, así como en las tareas de secuencias motrices. Por otro lado, fue capaz de mejorar en la realización de movimientos alternos con las manos y en reacciones opuestas ( $p < .001$ ) presentando un cambio clínicamente significativo. Estos resultados, en contraste, no se presentan en RC. Él obtuvo un mejor puntaje en cálculo ( $p < .05$ ) sin alcanzar la significancia clínica, y una mejora en los movimientos de su mano derecha ( $p < .001$ ) siendo clínicamente significativo. No obstante, su puntaje fue a menos en movimientos alternos de la mano.

Otro de los componentes fundamentales a ser analizado fue la memoria de trabajo, y para ello se utilizó el índice de memoria de trabajo (IMT) de la escala Wechsler de Inteligencia para Adultos IV y se evaluó con cada una de sus subpruebas.

AM mejoró su desempeño en las tres tareas siendo la sucesión de números y letras donde se encuentran sus mayores cambios. RC mejoró ligeramente en la capacidad para retener dígitos, su puntaje en aritmética disminuyó y también mejoró considerablemente en la sucesión de números y letras. Debido a que Wechsler (2014) no considera a la prueba de sucesión de números y letras para el cálculo del índice de memoria de trabajo, estos cambios no se ven reflejados en el análisis de significancia de los participantes.

AM presenta un cambio confiable en su índice de memoria de trabajo pasando de 59 a 70 ( $p > .001$ ) pero no alcanza a ser un cambio clínico. El IMT de RC se mantiene en 79, sin cambios, ya que no se considera la prueba mencionada con anterioridad para el cálculo.

Estos índices se encuentran por debajo a lo encontrado por Carlozzi, Krisch, Kisala y Tulsy (2015) quienes reportan un promedio de 92.83 (1.79 d.e) para pacientes con TCE grave en la misma prueba.

Finalmente, la flexibilidad cognitiva fue evaluada mediante el test de clasificación de cartas de Wisconsin, que indica la capacidad de un individuo para

cambiar de categorías cuando sus respuestas ya no funcionan ante las demandas de la tarea. En este ámbito se encontró el peor desempeño de los participantes.

AM tuvo un peor desempeño en la evaluación post-test, siendo incapaz de formar una categoría y cometiendo más errores. RC, por su parte, tuvo menos errores, menos perseveraciones y logró completar una categoría de las seis posibles, aun así mostró tendencia a completar más categorías aunque cometiendo errores que cortaban su desempeño. Los resultados encontrados en el presente estudio se sitúan muy por debajo de lo encontrado por Wiegner y Donders (1999) para pacientes con TCE, lo que refleja lo heterogéneo de la condición traumática cerebral.

Las puntuaciones naturales de esta prueba fueron transformadas a puntuaciones típicas para determinar el índice de cambio confiable y la posible existencia de un cambio clínico. Los resultados de RC muestran una disminución del total de errores y errores perseverativos cuya confianza es de un 68.26%, siendo el único indicador de cambio en esta prueba para ambos participantes.

Es importante considerar que la prueba de clasificación de Wisconsin es una tarea muy larga y cansada para algunos participantes con diagnóstico de TCE (Sherer, Nick, Millis y Novack, 2003), lo cual es una explicación alternativa al por de la carencia de resultados positivos. Al ser la última prueba aplicada después de todas las sesiones de rehabilitación y evaluación, el cansancio de los participantes puede ser un factor, en especial en el caso de AM que no formó ni una sola categoría.

## **6.5 Cambios en el estado anímico.**

El cuarto objetivo específico de la presente intervención fue identificar los cambios en el estado anímico de los participantes al terminar las sesiones en el ambiente en realidad virtual. Los TCE pueden ser disparadores de apatía, depresión, reacciones paranoides, falta de control de impulsos, poca tolerancia a la frustración e incluso cambios en la personalidad (Prigatano, 2005).

Con respecto a la sintomatología depresiva evaluada mediante el inventario de depresión de Beck, se observa una disminución de dos puntos en el participante AM y una disminución de tres puntos en el participante RC, los decrementos de ambos participantes tiene un índice de cambio confiable de un 99% ( $p > .001$ ), pero el resultado no fue clínicamente significativo de acuerdo a los criterios del presente trabajo. RC se mantiene presentando sintomatología depresiva moderada, que puede ser asociada a factores tanto internos como externos del individuo: el modo de afrontar el cambio en el estilo de vida, las interacciones con la familia y demás esferas sociales, entre otros (Prigatano, 2005).

En los resultados de la escala de afectos positivos y negativos es posible observar una disminución en puntajes tanto negativos como positivos en ambos participantes con un índice de cambio confiable de 99% ( $p > .001$ ), pero sin alcanzar la significancia clínica. Los afectos se conforman en dos grandes dimensiones: positivos y negativos, de acuerdo con Robles y Páez (2003).

Los afectos positivos se relacionan con el dominio del individuo y se experimentan con facilidad sentimientos de satisfacción, gusto, entusiasmo, amistad, etc. Por el contrario, el afecto negativo refiere a la sensibilidad de un individuo ante estímulos negativos. Se experimenta miedo, ansiedad, tristeza, depresión, hostilidad, etc. (Robles y Páez, 2003).

Los resultados son alentadores con respecto a la disminución de los afectos negativos, pero acompañarse de una disminución de afectos positivos fue inesperado. Es posible hipotetizar que la intervención sirvió para disminuir los afectos negativos, pero el aumento de los afectos positivos requiere de esferas que van más allá del individuo y tiene que ver con herramientas para reforzar sus interacciones interpersonales (Prigatano, 2005).

Finalmente, utilizar la escala de síntomas 90-R permitió evaluar diferentes dimensiones de cambio en los participantes. Este instrumento es utilizado para evaluar síntomas de diversas manifestaciones de malestar psicológico (Derogatis, 2002).

En primer lugar, el índice global de severidad disminuyó en ambos participantes tras la intervención. Lo que nos indica que el reflejo de malestar general fue menor en relación al comienzo de la intervención. En el participante AM, los síntomas de hostilidad disminuyeron sin ser clínicamente significativos y con un índice de cambio confiable del 68.26%, mientras que la ideación paranoide aumentó. RC, al igual que AM, tuvo una disminución en varias dimensiones, pero la ideación paranoide se mantiene igual.

Prigatano (1999; 2005) hace referencia a que la ideación paranoide está asociada a lesiones en regiones frontales y temporales y la hostilidad a regiones frontales. El presente proyecto de intervención buscó la rehabilitación de funciones cognitivas como atención, memoria y procesos ejecutivos, sin enfocarse directamente al tratamiento de la regulación emocional.

Las áreas que mostraron disminución de sintomatología negativa o depresiva pueden explicarse por un posible incremento en la motivación del paciente o esperanza de que su condición puede mejorar (Prigatano, 2005), pero sintomatología como la hostilidad o la ideación paranoide, que puede derivar también de daño estructural en el cerebro, podría requerir otro tipo de intervención, como la terapia cognitivo conductual para enseñar estrategias de afrontamiento para la sintomatología psicológica derivada de un TCE (Anson y Ponsford, 2006).

## **6.6 Efecto general del programa de rehabilitación cognitiva.**

El objetivo del presente trabajo de investigación fue evaluar el efecto de una plataforma digital apoyada en realidad virtual en la rehabilitación de problemas de atención, memoria y funciones ejecutivas en personas diagnosticadas con un traumatismo cráneo-encefálico grave. Para ello se evaluaron las dimensiones mencionadas con anterioridad, junto a pruebas para determinar el estado anímico de los participantes.

En primer lugar, el sistema fue evaluado como usable (Brooke, 1996) por AM evaluándolo por encima de 68. RC tuvo un puntaje ligeramente menor, lo cual

indica que el sistema no fue del todo cómodo para él. La dificultad que ambos participantes enfrentaron fue interactuar con el escenario utilizando un ratón y un pequeño teclado para desplazarse con la plataforma. Problemas motores remanentes tras su traumatismo dificultaron el desplazamiento adecuado por el sistema.

Tomando como referencia los resultados en la prueba NEUROPSI antes y después de la intervención, se observa un incremento en los puntajes, y la asociación de esta prueba con las demás tareas de constructos específicos permite dar cuenta de una mejora en procesos ejecutivos, de memoria, e incluso indicios de una mejora en atención. Probablemente, con mayores repeticiones, sea posible obtener mejores resultados (Gamito *et al.* 2015).

Gamito *et al.* (2015) utilizaron tareas de la misma plataforma para rehabilitar funciones cognitivas en pacientes sobrevivientes a un accidente cerebrovascular y encontraron mejoras en mediciones de memoria de trabajo y atención. En línea con su intervención, los presentes resultados también indican una mejora en los procesos de memoria de trabajo, junto a discretas mejoras en atención y aumento en puntajes de memoria.

Los ejercicios de la plataforma son de un nivel adaptativo de dificultad, repetitivos, motivantes e intensivos (Gamito *et al.*, 2015), lo que puede ayudar a transferir el entrenamiento de estos procesos en la plataforma a las actividades cotidianas.

En esta intervención se describieron las mejoras en dos participantes cuyo tiempo después del TCE fue de un año, factor que de acuerdo con Manivannan *et al.* (2018) no tiene influencia negativa sobre los posibles resultados. En su revisión, dan cuenta de un cuerpo considerable de evidencia que apoya los usos potenciales de las tecnologías en realidad virtual para la rehabilitación de los pacientes con TCE (Manivannan *et al.*, 2018).

Uno de los problemas en la evaluación y rehabilitación de funciones cognitivas es la validez ecológica de los instrumentos y materiales utilizados

(Chaytor y Schmitter-Edgecombe, 2003), ya que señalan que muchos de estos elementos sólo presentan un nivel moderado para dar cuenta real del funcionamiento cognitivo diario de una persona. Por ello, Parsey y Schmitter-Edgecombe (2013) resaltan la importancia de incorporar entornos digitales y virtuales para trabajar el funcionamiento cognitivo.

La plataforma utilizada recrea diversos escenarios cotidianos: un departamento con tareas cotidianas de cuidado del individuo, supermercados, museos, tiendas, un amplio espacio de navegación, etc. Lo que permite al individuo poner en marcha diversos ejercicios en un ambiente seguro y, posibilitándole así, la repetición constante de diversas tareas.

Al desenvolverse en esta clase de ambientes, los participantes reportaron un mayor interés en las terapias de rehabilitación (Kizony, Katz y Weiss, 2004). De acuerdo a estos autores, involucrarse en un ambiente en realidad virtual ayuda a que las personas se animen a participar en actividades que, en otro contexto, podrían resultar dolorosas o aburridas.

Finalmente, es importante señalar que los resultados de la presente intervención pueden ser mejorables combinándolos con terapias psicológicas que ayuden al participante a trabajar su sintomatología depresiva, rasgos hostiles y así poder lidiar con las interacciones personales y laborales que pueda tener en su vida, y podría observarse un beneficio combinando esta aproximación con tareas grupales y con otras tareas como diarios de memoria (Braverman *et al.*, 1999).

La enseñanza de habilidades en todas las esferas de funcionamiento de un individuo (Braverman *et al.*, 1999) es fundamental para lograr el correcto desenvolvimiento de la persona en sus ambientes cotidianos y lograr una rehabilitación más efectiva.

El sistema nervioso es un sistema complejo de redes (Sharp *et al.*, 2014), por lo tanto, una manifestación cognitiva no se presenta como una única entidad (ver Henke, 2010 para el caso de memoria). El correcto desempeño en una tarea particular de memoria, requiere de la atención del paciente y de funciones

ejecutivas para la inhibición de otras posibles respuestas o conductas. Por lo tanto, una aproximación general de rehabilitación, como la realizada en el presente estudio, puede ser beneficioso para mejorar de forma integral el funcionamiento de un individuo.

## CAPÍTULO 7

### CONCLUSIONES.

Los traumatismos cráneo-encefálicos y sus consecuencias, son de los problemas de salud pública más serios e involucran un alto costo económico para todos los sistemas de salud del mundo (Srivastava y Cox, 2018). Entre las deficiencias cognitivas que los pacientes presentan tras sufrir una de estas lesiones existen problemas en funciones ejecutivas, memoria, atención y demás procesos derivados de la desconexión de redes neuronales.

Esto tiene consecuencias en el funcionamiento normal y en la vida cotidiana de las personas que lo presentan, como son: distraerse con facilidad, olvidar cosas, estar incapacitados para trabajar, padecer trastornos anímicos, etc. Por tanto, el tratamiento y la rehabilitación se vuelven algo fundamental.

En nuestro país, los TCE son la cuarta causa de muerte y mueren 38.8 casos por cada 100,000 habitantes (Carrillo y Meza, 2015). De forma directa e indirecta, el Estado mexicano invierte casi 50 billones de pesos (Ontiveros *et al.*, 2014) en el tratamiento de este padecimiento, y los costos económicos para los sobrevivientes y sus familiares pueden llegar a ser muy elevados.

Estos costos también involucran el traslado a centros de rehabilitación para recibir tratamiento, lo cual limita el alcance para tratar la problemática. Por ello, se desarrollan programas de tele-rehabilitación y apoyados en realidad virtual, como la presente plataforma de intervención adaptada a una población mexicana, para poder otorgar ejercicios de rehabilitación en diversas partes de la República mexicana, y potencialmente disminuir a largo plazo estos gastos que se realizan para tratar la condición.

Las bondades de la combinación resultante de la tecnología en la realidad virtual con los medios de tele-rehabilitación no recaen únicamente en lo económico, sino también actúa como un incentivo a que el paciente, desde su casa o alguna instalación cercana a ésta, realice los ejercicios en compañía de

profesionales entrenados o de sus propios familiares. Crear una red de apoyo es vital para poder enfrentar con las secuelas de los traumatismos cráneo-encefálicos (Griffen y Hanks, 2014).

En línea con diversas investigaciones (Piron *et al.*, 2009; Lloréns *et al.*, 2014; Gamito *et al.*, 2016b), los resultados indican que la plataforma es efectiva para tratar problemas de atención, memoria y funciones ejecutivas, así como también tiene un efecto sobre el estado anímico de los participantes, posiblemente incrementando la motivación y la esperanza de mejorar su condición.

Se realizó también un análisis de significancia clínica de pruebas particulares para evaluar el efecto particular de la intervención sobre dominios específicos. Cambios confiables y/o clínicamente significativos se encuentran en los dominios de atención sostenida, evocación del recuerdo, funciones ejecutivas, codificación de estímulos, memoria de trabajo y disminución de sintomatología depresiva.

Al ser datos de cambio clínicamente significativos y confiables, se espera que estas mejoras reflejadas en el desempeño de las pruebas neuropsicológicas utilizadas para la evaluación sean indicadores de que los participantes de este estudio puedan desempeñar mejor las actividades cotidianas que les eran imposibles con anterioridad, como realizar compras, elegir adecuadamente su ropa, recordar detalles acerca de las personas, preparar sus alimentos, etc.

Las pruebas de evaluación están diseñadas para reflejar procesos cognitivos de los pacientes equiparando tareas sencillas con los mismos procesos utilizados en tareas cotidianas (Chaytor y Schmitter-Edgecombe, 2003). Por lo tanto, es deseable una transferencia de las ganancias del desempeño en las tareas de medición de procesos cognitivos a las tareas que cada uno de estos participantes debe llevar a cabo en su vida.

Es por ello que las tareas en realidad virtual constituyen una herramienta efectiva que aporta elementos que suman hacia una mayor validez ecológica, ya que permiten recrear escenarios similares en los que una persona se desenvuelve

en su día con día y así realizar un entrenamiento mucho más directo en donde, por otros medios, el terapeuta o profesional de rehabilitación no podría acompañar a la persona en cuestión (Gamito *et al.*, 2016).

Articular el funcionamiento cognitivo y el estado anímico de las personas con un traumatismo cráneo-encefálico es de vital importancia ya que la relación entre la gravedad de un TCE y los procesos afectivos de la persona están mediados por factores que incluyen la conciencia del propio déficit y la discapacidad relacionada a las heridas (Dikmen, Bombardier, Machamer, Fann y Temkin, 2004).

La sintomatología depresiva que se desarrolla después de un TCE, por ejemplo, está relacionada a la sensación de discapacidad derivada de las deficiencias cognitivas (Griffen y Hanks, 2014). La intervención realizada en el presente estudio permite a los pacientes ser capaces de su progreso, lo cual probablemente disminuye la sensación de discapacidad, y les permite encarar de mejor manera las tareas de rehabilitación. Esto, a su vez, disminuye los efectos que la sintomatología depresiva y los efectos negativos tienen sobre la cognición (Fann, Uomoto y Katon, 2001).

La retroalimentación que recibe el participante al realizar los ejercicios, más la devolución del análisis de sus resultados en las evaluaciones finales también pueden ser un aliciente para que éste tenga mayor confianza en su propio desempeño y supere las discapacidades a las que se ve enfrentando.

Estas discapacidades no sólo se limitan al apartado físico y cognitivo, sino a la interacción con pares, ámbito laboral, ámbito académico, etc. Por lo tanto, esta intervención, aunque diseñada para procesos cognitivos, puede influir en más esferas funcionales de los pacientes con un traumatismo cráneo-encefálico. Es por ello que resulta fundamental estudiar aspectos que van más allá de la atención, la memoria y las funciones ejecutivas, incluyendo factores anímicos; y, en la medida de lo posible, realizarlo de manera individualizada.

Realizar un análisis individualizado permite detectar las fortalezas y necesidades de cada participante y diseñar mejores programas de intervención o enfocarlos a áreas particulares.

Adicionalmente, es posible considerar también a esta plataforma de rehabilitación como un recurso en un programa de rehabilitación más extenso. Combinarla con métodos tradicionales, como los reportados por Cicerone *et al.* (2011) permitirían un proceso de cambio constante y la puesta en práctica de estrategias compensatorias a las deficiencias, mientras éstas últimas se van entrenando poco a poco en las sesiones de rehabilitación.

En conclusión, el uso de una batería extensa de evaluación neuropsicológica y los análisis individuales de significancia clínica permiten abordar la heterogeneidad de los traumatismos cráneo-encefálicos, ya que por un lado se evalúa a la persona de forma individualizada, pero los análisis se hacen en comparación con grupos de referencia sanos y con patologías similares gracias al método de Jacobson y Truax (1991). Por tanto, la presente propuesta, pese a las limitaciones que se discutirán más adelante, pretende ser una contribución al análisis de la eficacia de los programas de intervención sobre los procesos cognitivos y afectivos, en este caso, haciendo uso de las tecnologías con realidad virtual.

### **7.1 Limitaciones.**

El presente trabajo posee varias limitaciones que son de vital importancia mencionar para poder abordarlas a futuro.

- Los análisis se realizaron inter-sujeto, y no hubo un grupo control sometido a terapias de rehabilitación tradicionales o a lista de espera, lo que no permite comparar el efecto de la plataforma en realidad virtual con respecto a otros medios de rehabilitación.
- Sólo se trabajó con dos participantes, estudios con muestras mayores permitirían utilizar otro tipo de análisis estadísticos para tener diferencias entre grupos.

- El sistema nervioso es un todo funcional, por lo cual evaluar una actividad también requiere de la puesta en marcha de mecanismos que pueden corresponder a otra función cognitiva. En un TCE puede existir un daño generalizado, por lo que mejoras individuales en “memoria”, “atención”, o “funciones ejecutivas”, deben tomarse con cautela.
- Las manifestaciones de un TCE suelen ser muy heterogéneas, y sumado al tamaño de esta muestra, las generalizaciones no se aconsejan.
- Existe una carencia de datos normativos para muestras sanas y con patologías en muestra mexicana para algunas de las pruebas utilizadas, por lo tanto, análisis de significancia clínica no se pudieron realizar para todos los instrumentos utilizados.
- Los participantes con TCE pueden tener dificultades motoras, por lo cual utilizar sistemas que requieran de destreza manual o movimientos finos puede comprometer su desempeño en la plataforma.
- Aunque la realidad virtual es una herramienta promisoría para superar los problemas de validez ecológica de las pruebas neuropsicológicas tradicionales (Gamito *et al.*, 2016), el presente trabajo no cuantifica la transferencia de las habilidades adquiridas y procesos en rehabilitación hacia actividades de la vida cotidiana de los participantes.
- Las mismas pruebas de evaluación neuropsicológica fueron utilizadas en pre-test y post-test, por lo que un efecto de práctica puede haber influido en los resultados. No obstante, los datos no muestran variaciones exageradas en los resultados, por lo cual esta posibilidad, aunque latente, no es considerada como un factor explicativo primario.

## 7.2 Sugerencias a futuro.

Para futuras investigaciones, las limitaciones mencionadas con anterioridad deben tomarse a consideración y plantearse nuevos diseños experimentales.

- Realizar estudios comparativos entre diversos tipos de traumatismo craneo-encefálico y su desempeño en la versión mexicana de la batería sistémica de Lisboa.
- Utilizar inventarios que evalúen la calidad de vida de los participantes para observar posibles diferencias tras la intervención.
- Combinar la intervención en realidad virtual para la mejora de funciones cognitivas junto a estrategias de terapia cognitivo-conductual para enseñar al participante a lidiar mejor con sus emociones y su condición, y observar qué efecto podría tener sobre las mediciones utilizadas.
- Realizar medidas de línea base múltiple en caso de trabajar con muestras muy pequeñas para observar posibles cambios graduales en el desempeño cognitivo.
- Realizar medidas de seguimiento algunos meses después, o incluso un año después de la intervención, para observar el mantenimiento o deterioro de los cambios reportados.

## REFERENCIAS.

- Agostini, M., Garzon, M., Benavides-Varela, S., De Pellegrin, S., Bencini, G., Rossi, G., Rosadoni, S., Mancuso, M., Turolla, A., Meneghello, F. y Tonin, P. (2014). Telerehabilitation in poststroke anomia. *BioMed research international, 2014*.
- Anson, K., y Ponsford, J. (2006). Evaluation of a coping skills group following traumatic brain injury. *Brain Injury, 20*(2), 167-178.
- Ashley, M. J., Ripley, D. L., Griesbach, G. S., y Ashley, M. J. (2017). Bioscience indications for chronic disease management and neuromedical interventions following traumatic brain injury. En *Traumatic Brain Injury* (pp. 3-30). CRC Press.
- Balestreri, M., Czosnyka, M., Chatfield, D. A., Steiner, L. A., Schmidt, E. A., Smielewski, P., Malta, B. y 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 y Psychiatry, 75*(1), 161-162.
- Barkley, R. A. (2012). *Executive functions: What they are, how they work, and why they evolved*. Guilford Press.
- Bedard, M., Taler, V., y Steffener, J. (2018). Long-term prospective memory impairment following mild traumatic brain injury with loss of consciousness: findings from the Canadian Longitudinal Study on Aging. *The Clinical Neuropsychologist, 32*(5), 1002-1018.
- Beck, A. T., Steer, R. A., y Carbin, M. G. (1988). Psychometric properties of the Beck Depression Inventory: Twenty-five years of evaluation. *Clinical psychology review, 8*(1), 77-100.
- Bettcher, B. M., Mungas, D., Patel, N., Eloffson, J., Dutt, S., Wynn, M., Watson, C. L., Stephens, M. y Kramer, J. H. (2016). Neuroanatomical substrates of

- executive functions: beyond prefrontal structures. *Neuropsychologia*, 85, 100-109.
- Björkdahl, A., Åkerlund, E., Svensson, S., y Esbjörnsson, E. (2013). A randomized study of computerized working memory training and effects on functioning in everyday life for patients with brain injury. *Brain injury*, 27(13-14), 1658-1665.
- Bogdanova, Y., Yee, M. K., Ho, V. T., y Cicerone, K. D. (2016). Computerized cognitive rehabilitation of attention and executive function in acquired brain injury: a systematic review. *The Journal of head trauma rehabilitation*, 31(6), 419.
- Bonnelle, V., Leech, R., Kinnunen, K. M., Ham, T. E., Beckmann, C. F., De Boissezon, X., Greenwood, R. y Sharp, D. J. (2011). Default mode network connectivity predicts sustained attention deficits after traumatic brain injury. *Journal of Neuroscience*, 31(38), 13442-13451.
- Bostan, A. C., y Strick, P. L. (2018). The basal ganglia and the cerebellum: nodes in an integrated network. *Nature Reviews Neuroscience*, 1.
- Bramlett, H. M., y Dietrich, W. D. (2015). Long-term consequences of traumatic brain injury: current status of potential mechanisms of injury and neurological outcomes. *Journal of neurotrauma*, 32(23), 1834-1848.
- Brooke, J. (1996). SUS: a "quick and dirty" usability scale [SUS: un sistema de escala de usabilidad "rápido y sucio"]. *Usability Evaluation in Industry [Evaluación de usabilidad en la Industria]*. London: Taylor and Francis. Recuperado de [http://cui.unige.ch/isi/iclwiki/\\_media/ipm:test-suschapt.pdf](http://cui.unige.ch/isi/iclwiki/_media/ipm:test-suschapt.pdf).
- Burzynska, A. Z., Nagel, I. E., Preuschhof, C., Gluth, S., Bäckman, L., Li, S. C., Lindenberger, U. y Heekeren, H. R. (2012). Cortical thickness is linked to executive functioning in adulthood and aging. *Human brain mapping*, 33(7), 1607-1620.

- Buschman, T. J., y Kastner, S. (2015). From behavior to neural dynamics: an integrated theory of attention. *Neuron*, 88(1), 127-144.
- Buschman, T. J., y Miller, E. K. (2007). Top-down versus bottom-up control of attention in the prefrontal and posterior parietal cortices. *Science*, 315(5820), 1860-1862.
- Cáceres Rodríguez, D. E., Montoya Camargo, Z. y Ruiz Hurtado, A.M. (2003). Intervención psicosocial para el incremento de la calidad de vida en pacientes con trauma craneoencefálico moderado a severo. *Revista Colombiana de Psicología*, 12(1), 60-72.
- Caeyenberghs, K., Leemans, A., Leunissen, I., Gooijers, J., Michiels, K., Sunaert, S., y Swinnen, S. P. (2014). Altered structural networks and executive deficits in traumatic brain injury patients. *Brain Structure and Function*, 219(1), 193-209.
- Carlozzi, N. E., Kirsch, N. L., Kisala, P. A., y Tulskey, D. S. (2015). An examination of the Wechsler Adult Intelligence Scales, (WAIS-IV) in individuals with complicated mild, moderate and Severe traumatic brain injury (TBI). *The Clinical Neuropsychologist*, 29(1), 21-37.
- Carrillo-Esper, R., y Meza-Márquez, J. M. (2015). Trauma craneoencefálico. *Revista Mexicana de Anestesiología*, 38(S3), 433-434.
- Castellanos, N. P., Rodríguez-Toscano, E., García-Pacios, J., Garcés, P., Paúl, N., Cuesta, P., Bajo, R., García-Prieto, J., Del Pozo, F., y Maestú, F. (2016). Traumatic brain injury: Neuropsychological rehabilitation. *Neuroplasticity in learning and rehabilitation*. Hauppauge, NY, US: Nova Biomedical Books, 121-131.
- Casullo, M., y Pérez, M. (2008). El inventario de síntomas SCL-90-R de L. Derogatis. *Adaptación UBA. Conicet*.

- Chaytor, N., y Schmitter-Edgecombe, M. (2003). The ecological validity of neuropsychological tests: A review of the literature on everyday cognitive skills. *Neuropsychology review*, 13(4), 181-197.
- Chen, S. H. A., Thomas, J. D., Glueckauf, R. L., y Bracy, O. L. (1997). The effectiveness of computer-assisted cognitive rehabilitation for persons with traumatic brain injury. *Brain injury*, 11(3), 197-210.
- Cicerone, K. D., Dahlberg, C., Kalmar, K., Langenbahn, D. M., Malec, J. F., Bergquist, T. F., Felicetti, T., Giacino, J. T., Preston Harley, J., Harrington, D. E., Herzog, J., Kneipp, S., Laatsch, L y Morse, P. A. (2000). Evidence-based cognitive rehabilitation: recommendations for clinical practice. *Archives of physical medicine and rehabilitation*, 81(12), 1596-1615.
- Cicerone, K. D., Langenbahn, D. M., Braden, C., Malec, J. F., Kalmar, K., Fraas, M., Felicetti, T., Laatsch, L., Harley, J. P., Bergquist, T., Azulay., J., Cantor, J. y Ashman, T. (2011). Evidence-based cognitive rehabilitation: updated review of the literature from 2003 through 2008. *Archives of physical medicine and rehabilitation*, 92(4), 519-530.
- Cohen, R. A., Sparling-Cohen, Y. A., y O'Donnell, B. F. (1993). *The neuropsychology of attention*. New York: Plenum Press.
- Cortés, J. F., Galindo, G., Villa, M., y Salvador, J. (1996). La figura compleja de Rey: propiedades psicométricas. *Salud mental*, 19(3), 42-48.
- Crandall, M. (2011). Epidemiology of traumatic brain injury. *Manual of traumatic brain injury management*, 25-29.
- D'Elia, L., y Satz, P. (2000). *Color trails test*. Psychological Assessment Resources.
- De Luca, R., Calabrò, R. S., Gervasi, G., De Salvo, S., Bonanno, L., Corallo, F., De Cola, M. C. y Bramanti, P. (2014). Is computer-assisted training effective in improving rehabilitative outcomes after brain injury? A case-control hospital-based study. *Disability and Health Journal*, 7(3), 356-360.

- De Simoni, S., Grover, P. J., Jenkins, P. O., Honeyfield, L., Quest, R. A., Ross, E., Scott, G., Wilson, M. H., Majewska, P., Waldman, A. D., Patel, M. C. y Sharp, D. J. (2016). Disconnection between the default mode network and medial temporal lobes in post-traumatic amnesia. *Brain*, 139(12), 3137-3150.
- Delaney, R. C., Prevey, M. L., Cramer, J., Mattson, R. H., y VA Epilepsy Cooperative Study# 264 Research Group. (1992). Test-retest comparability and control subject data for the rey-auditory verbal learning test and rey-osterrieth/taylor complex figures. *Archives of Clinical Neuropsychology*, 7(6), 523-528.
- Demakis, G. J., Hammond, F. M., y Knotts, A. (2010). Prediction of depression and anxiety 1 year after moderate-severe traumatic brain injury. *Applied neuropsychology*, 17(3), 183-189.
- Derogatis, L. R. (2002). *SCL-90-R: cuestionario de 90 síntomas: manual*. Tea.
- Dewan, M. C., Rattani, A., Gupta, S., Baticulon, R. E., Hung, Y. C., Punchak, M., Agrawal, A., Adeleye, A., Shrime, M., Rubiano, A., Rosenfeld, J. y Park, K. (2018). Estimating the global incidence of traumatic brain injury. *Journal of neurosurgery*, 1-18.
- Diamond, A. (2013). Executive functions. *Annual review of psychology*, 64, 135-168.
- Diaz-Arrastia, R., y Vos, P. E. (2015). The Clinical Problem of Traumatic Head Injury. En *Traumatic Brain Injury*. (pp. 3-12). West Sussex: John Wiley y Sons, Ltd.
- Dickerson, B. C., y Eichenbaum, H. (2010). The episodic memory system: neurocircuitry and disorders. *Neuropsychopharmacology*, 35(1), 86.
- Dikmen, S. S., Bombardier, C. H., Machamer, J. E., Fann, J. R., y Temkin, N. R. (2004). Natural history of depression in traumatic brain injury. *Archives of physical medicine and rehabilitation*, 85(9), 1457-1464.

- Dikmen, S. S., Corrigan, J. D., Levin, H. S., Machamer, J., Stiers, W., y Weisskopf, M. G. (2009). Cognitive outcome following traumatic brain injury. *The Journal of head trauma rehabilitation*, 24(6), 430-438.
- Dubois, B., Slachevsky, A., Litvan, I., y Pillon, B. F. A. B. (2000). The FAB: a frontal assessment battery at bedside. *Neurology*, 55(11), 1621-1626.
- Dymowski, A. R., Owens, J. A., Ponsford, J. L., y Willmott, C. (2015). Speed of processing and strategic control of attention after traumatic brain injury. *Journal of clinical and experimental neuropsychology*, 37(10), 1024-1035.
- Dymowski, A. R., Ponsford, J. L., y Willmott, C. (2016). Cognitive training approaches to remediate attention and executive dysfunction after traumatic brain injury: A single-case series. *Neuropsychological rehabilitation*, 26(5-6), 866-894.
- Elliott, M., y Parente, F. (2014). Efficacy of memory rehabilitation therapy: A meta-analysis of TBI and stroke cognitive rehabilitation literature. *Brain Injury*, 28(12), 1610-1616.
- Fagerholm, E. D., Hellyer, P. J., Scott, G., Leech, R., y Sharp, D. J. (2015). Disconnection of network hubs and cognitive impairment after traumatic brain injury. *Brain*, 138(6), 1696-1709.
- Fann, J. R., Uomoto, J. M., y Katon, W. J. (2001). Cognitive improvement with treatment of depression following mild traumatic brain injury. *Psychosomatics*, 42(1), 48-54.
- Faria, A. L., Andrade, A., Soares, L., y i Badia, S. B. (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(1), 96.
- Faul, M., y Coronado, V. (2015). Epidemiology of traumatic brain injury. In *Handbook of clinical neurology* (Vol. 127, pp. 3-13). Elsevier.

- Frijda, N. (2009). Mood. En D. Sander y K. Scherer (Eds.), *The Oxford companion to emotion and the affective sciences* (pp. 258-259). New York: Oxford University Press.
- Gamito, P., Oliveira, J., Pacheco, J., Morais, D., Saraiva, T., Lacerda, R., Baptista, A., Santos, N., Soares, F., Gamito, L. y Rosa, P. (2011). Traumatic Brain Injury memory training: a Virtual Reality online solution. *International Journal on Disability and Human Development*, 10(4), 309-312.
- Gamito, P., Oliveira, J., Coelho, C., Morais, D., Lopes, P., Pacheco, J., Brito, R., Soares, F., Santos, N. y Barata, A. F. (2015). Cognitive training on stroke patients via virtual reality-based serious games. *Disability and rehabilitation*, 39(4), 385-388.
- Gamito, P., Oliveira, J., Brito, R., Lopes, P., Rodelo, L., Pinto, L., y Morais, D. (2016a). Evaluation of cognitive functions through the Systemic Lisbon Battery: normative data. *Methods of information in medicine*, 55(01), 93-97.
- Gamito, P., Morais, D., Oliveira, J., Lopes, P. F., Picareli, L. F., Matias, M., Correia, S y Brito, R. (2016b). Systemic Lisbon Battery: Normative data for memory and attention assessments. *JMIR rehabilitation and assistive technologies*, 3(1), e5.
- Gardner, R. C., y Yaffe, K. (2015). Epidemiology of mild traumatic brain injury and neurodegenerative disease. *Molecular and Cellular Neuroscience*, 66, 75-80.
- Gennarelli, T. A, y Graham, D. I. (2005). Neuropathology. En *Textbook of Traumatic Brain Injury* (pp. 27-50). Arlington, VA: American Psychiatric Publishing.
- Godoy, D. A., Rubiano, A., Rabinstein, A. A., Bullock, R., y Sahuquillo, J. (2016). Moderate traumatic brain injury: The grey zone of neurotrauma. *Neurocritical care*, 25(2), 306-319.

- Gómez Penedo, J. M., y Roussos, A. (2012). ¿Cómo sabemos si nuestros pacientes mejoran? Criterios para la significancia clínica en psicoterapia: Un debate que se renueva.
- Griffen, J. y Hanks, R. (2014). Cognitive and Behavioral Outcomes from Traumatic Brain Injury. En *Handbook on the neuropsychology of traumatic brain injury* (pp. 25-45). Springer, New York, NY.
- Guillamondegui, O. D., Montgomery, S. A., Phibbs, F. T., McPheeters, M. L., Alexander, P. T., Jerome, R. N., McKoy, J. N., Seroogy, J. J., Eicken, J. J., Krishnaswami, S., Salomon, R. M., y Hartmann, K. E. (2011). Traumatic brain injury and depression.
- Hargrave, D. D., Nupp, J. M., y Erickson, R. J. (2012). Two brief measures of executive function in the prediction of driving ability after acquired brain injury. *Neuropsychological rehabilitation*, 22(4), 489-500.
- Hayes, J. P., Bigler, E. D., y Verfaellie, M. (2016). Traumatic brain injury as a disorder of brain connectivity. *Journal of the International Neuropsychological Society*, 22(2), 120-137.
- Hawryluk, G. W., y Manley, G. T. (2015). Classification of traumatic brain injury: past, present, and future. In *Handbook of clinical neurology* (Vol. 127, pp. 15-21). Elsevier.
- Heaton, R. K., Chelune, G. J., Talley, J. L., Kay, G. G., y Curtiss, G. (2001). *WCST: Test de clasificación de tarjetas de Wisconsin*. TEA.
- Henke, K. (2010). A model for memory systems based on processing modes rather than consciousness. *Nature Reviews Neuroscience*, 11(7), 523.
- Hofmann, W., Schmeichel, B. J., y Baddeley, A. D. (2012). Executive functions and self-regulation. *Trends in cognitive sciences*, 16(3), 174-180.
- Houseman, C. M., Belverud, S. A., y Narayan, R. K. (2012). Closed head injury. In *Principles of Neurological Surgery (Third Edition)* (pp. 325-347).

- Ito, K., Asano, Y., Ikegame, Y., y Shinoda, J. (2016). Differences in brain metabolic impairment between chronic mild/moderate TBI patients with and without visible brain lesions based on MRI. *BioMed research international*, 2016.
- Jacobson, N. S., y Truax, P. (1991). Clinical significance: a statistical approach to defining meaningful change in psychotherapy research. *Journal of consulting and clinical psychology*, 59(1), 12.
- Jalloh, I., Carpenter, K. L., Helmy, A., Carpenter, T. A., Menon, D. K., y Hutchinson, P. J. (2015). Glucose metabolism following human traumatic brain injury: methods of assessment and pathophysiological findings. *Metabolic brain disease*, 30(3), 615-632.
- Jorge, R. E., y Arciniegas, D. B. (2014). Mood disorders after TBI. *Psychiatric Clinics*, 37(1), 13-29.
- Jourdan, C., Bayen, E., Bosserelle, V., Azerad, S., Genet, F., Fermanian, C., Aegerter, P., Pradat-Diehl, P., Weiss, J. J., Azouvi, P. (2013). Referral to rehabilitation after severe traumatic brain injury: results from the PariS-TBI Study. *Neurorehabilitation and neural repair*, 27(1), 35-44.
- Jurado, S., Villegas, M. E., Méndez, L., Rodríguez, F., Loperena, V., y Varela, R. (1998). La estandarización del Inventario de Depresión de Beck para los residentes de la Ciudad de México. *Salud mental*, 21(3), 26-31.
- Jurado, M. B., y Rosselli, M. The elusive nature of executive functions: a review of our current understanding. *Neuropsychology review* 17.3 (2007): 213-233.
- Karr, J. E., Areshenkoff, C. N., y Garcia-Barrera, M. A. (2014). The neuropsychological outcomes of concussion: A systematic review of meta-analyses on the cognitive sequelae of mild traumatic brain injury. *Neuropsychology*, 28(3), 321.
- Kazdin, A. E. (1982). *Single-Case Research Designs: Methods for clinical and applied settings*. New York: Oxford University Press.

- Kizony, R., Katz, N., y Weiss, P. L. (2004). Virtual reality based intervention in rehabilitation: relationship between motor and cognitive abilities and performance within virtual environments for patients with stroke. In *Proceedings of the 5<sup>th</sup> international conference on disability, virtual reality and associated technology*. Oxford, UK.
- Kreutzer, J. S., Seel, R. T., y Gourley, E. (2001). The prevalence and symptom rates of depression after traumatic brain injury: a comprehensive examination. *Brain injury*, 15(7), 563-576.
- Ku, J., y Kang, Y. J. (2018). Novel Virtual Reality Application in Field of Neurorehabilitation. *Brain y Neurorehabilitation*, 11(1).
- Kumar, S., Rao, S. L., Chandramouli, B. A., y Pillai, S. (2013). Reduced contribution of executive functions in impaired working memory performance in mild traumatic brain injury patients. *Clinical neurology and neurosurgery*, 115(8), 1326-1332.
- Lancet Neurology, T. (2013). A rally for traumatic brain injury research. *The Lancet Neurology*, 12(12), 1127.
- Laver, K. E., Schoene, D., Crotty, M., George, S., Lannin, N. A., y Sherrington, C. (2013). Telerehabilitation services for stroke. *Cochrane Database of Systematic Reviews*, (12).
- Ledesma, L. (2014). Evaluación Cognitiva de Montreal. Versión 7.3 Alterna Mexicana.
- Levin, H. S., y Diaz-Arrastia, R. R. (2015). Diagnosis, prognosis, and clinical management of mild traumatic brain injury. *The Lancet Neurology*, 14(5), 506-517.
- Lozano, D., Gonzales-Portillo, G. S., Acosta, S., de la Pena, I., Tajiri, N., Kaneko, Y., y Borlongan, C. V. (2015). Neuroinflammatory responses to traumatic brain injury: etiology, clinical consequences, and therapeutic opportunities. *Neuropsychiatric disease and treatment*, 11, 97.

- Lu, H. Y., Li, T. C., Tu, Y. K., Tsai, J. C., Lai, H. S., y Kuo, L. T. (2015). Predicting long-term outcome after traumatic brain injury using repeated measurements of Glasgow Coma Scale and data mining methods. *Journal of medical systems*, 39(2), 14.
- Malec, J. F., Brown, A. W., Moessner, A. M., Stump, T. E., y Monahan, P. (2010). A preliminary model for posttraumatic brain injury depression. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 91(7), 1087-1097.
- Manivannan, S., Al-Amri, M., Postans, M., Westacott, L. J., Gray, W., y Zaben, M. (2019). The effectiveness of virtual reality interventions for improvement of neurocognitive performance after traumatic brain injury: a systematic review. *The Journal of head trauma rehabilitation*, 34(2), E52-E65.
- Massetti, T., da Silva, T. D., Crocetta, T. B., Guarnieri, R., de Freitas, B. L., Bianchi Lopes, P., Watson, S., Tonks, J. y de Mello Monteiro, C. B. (2018). The clinical utility of virtual reality in neurorehabilitation: a systematic review. *Journal of Central Nervous System Disease*, 10, 1179573518813541.
- Maxwell, W. L. (2015). Development of Concepts in the Pathology of Traumatic Axonal and Traumatic Brain Injury. En F. H. Kobeissy (Ed.), *Brain Neurotrauma. Molecular, Neuropsychological and Rehabilitation Aspects* (pp. 15-34). Florida: CRC Press.
- McGinn, M. J., y Povlishock, J. T. (2016). Pathophysiology of traumatic brain injury. *Neurosurgery Clinics*, 27(4), 397-407.
- Miyake, A., Friedman, N., Emerson, M., Witzki, A., y Howerter, A. (2000). The unity and diversity of executive functions and their contributions to complex "frontal lobe" tasks: A latent variable analysis. *Cognitive Psychology*, 41(1), 49-100.
- Moral de la Rubia, J. (2011). La escala de afecto positivo y negativo (PANAS) en parejas casadas mexicanas. *Ciencia ergo sum*, 18(2).

- Morone, G., Girardi, S., Ghooshchy, S. G., Iosa, M., y Paolucci, S. (2018, October). Wearable Devices and Virtual Reality for Neurorehabilitation: An Opportunity for Home Rehabilitation. In *International Conference on NeuroRehabilitation* (pp. 601-605). Springer, Cham.
- Murphy, M. P., y Carmine, H. (2012). Long-term health implications of individuals with TBI: a rehabilitation perspective. *NeuroRehabilitation*, 31(1), 85-94.
- Nasreddine, Z. S., Phillips, N. A., Bédirian, V., Charbonneau, S., Whitehead, V., Collin, I. y Chertkow, H. (2005). The Montreal Cognitive Assessment, MoCA: a brief screening tool for mild cognitive impairment. *Journal of the American Geriatrics Society*, 53(4), 695-699.
- Neumann, D. (2017). Treatments for Emotional Issues After Traumatic Brain Injury. *The Journal of head trauma rehabilitation*, 32(5), 283-285.
- Ng, E. M., Polatajko, H. J., Marziali, E., Hunt, A., y Dawson, D. R. (2013). Telerehabilitation for addressing executive dysfunction after traumatic brain injury. *Brain injury*, 27(5), 548-564.
- O'Brien, S., Metcalf, K., y Batchelor, J. (2019). An examination of the heterogeneity of cognitive outcome following severe to extremely severe traumatic brain injury. *The Clinical Neuropsychologist*, 1-20.
- O'Phelan, K. (2016). Traumatic Brain Injury: Definitions and Nomenclature. *Manual of Traumatic Brain Injury: Assessment and Management*. (pp. 3-10)
- Ontiveros, Á., Preciado, A. K., Matute, E., López-Cruz, M., y López-Elizalde, R. (2014). Factores pronósticos de recuperación y reinserción laboral en adultos con traumatismo craneoencefálico. *Revista Mexicana de Neurociencia*, 15(4), 211-217.
- Ostrosky, F., Ardila, A., y Rosselli, M. (1999). Evaluación neuropsicológica breve en Español. *NEUROPSI. México: Publingenio*.
- Otero, T. M., y Barker, L. A. (2014). The frontal lobes and executive functioning. En *Handbook of executive functioning* (pp. 29-44). Springer, New York, NY.

- Parsey, C. M., y Schmitter-Edgecombe, M. (2013). Applications of technology in neuropsychological assessment. *The Clinical Neuropsychologist*, 27(8), 1328-1361
- PEBL. (2018). *The Psychology Experiment Building Language*. Recuperado en Febrero, 2018, de: <http://pebl.sourceforge.net>
- Peelen, M. V., y Kastner, S. (2014). Attention in the real world: toward understanding its neural basis. *Trends in cognitive sciences*, 18(5), 242-250.
- Phillips, N. L., Mandalis, A., Benson, S., Parry, L., Epps, A., Morrow, A., y Lah, S. (2016). Computerized working memory training for children with moderate to severe traumatic brain injury: a double-blind, randomized, placebo-controlled trial. *Journal of neurotrauma*, 33(23), 2097-2104.
- Pietrzak, E., Pullman, S., y McGuire, A. (2014). Using virtual reality and videogames for traumatic brain injury rehabilitation: a structured literature review. *GAMES FOR HEALTH: Research, Development, and Clinical Applications*, 3(4), 202-214.
- Piron, L., Turolla, A., Agostini, M., Zucconi, C., Cortese, F., Zampolini, M., Zaninni, M., Dam, M., Ventura, L. y Tonin, P. (2009). Exercises for paretic upper limb after stroke: A combined virtual-reality and telemedicine approach. *Journal of Rehabilitation Medicine*, 41(12), 1016–102.
- Postle, B. R. (2016). The hippocampus, memory, and consciousness. In *The Neurology of Consciousness* (pp. 349-363). Academic Press.
- Prigatano, G. P. (2005). Therapy for emotional and motivational disorders (W. M. High, Jr., A. M. Sander, M. A. Struchen, y K. A. Hart, Eds.). En *Rehabilitation for traumatic brain injury* (pp. 118-130). NY: Oxford University Press.
- Rabinowitz, A. R., y Levin, H. S. (2014). Cognitive sequelae of traumatic brain injury. *The Psychiatric Clinics of North America*, 37(1), 1.

- Real Academia de la Lengua Española. (2016). Diccionario de la lengua Española. Vigésimotercera edición. Versión normal.
- Redondo, R. L., y Morris, R. G. (2011). Making memories last: the synaptic tagging and capture hypothesis. *Nature Reviews Neuroscience*, 12(1), 17.
- Reith, F. C., Lingsma, H. F., Gabbe, B. J., Lecky, F. E., Roberts, I., y Maas, A. I. (2017). Differential effects of the Glasgow Coma Scale Score and its Components: An analysis of 54,069 patients with traumatic brain injury. *Injury*, 48(9), 1932-1943.
- Rey, A. (2009). REY. Test de copia de una figura compleja. *TEA ediciones, Madrid*.
- Robles, R., y Páez, F. (2003). Estudio sobre la traducción al español y las propiedades psicométricas de las escalas de afecto positivo y negativo (PANAS). *Salud mental*, 26(1), 69-75.
- Rodríguez-del Álamo, A., Catalán-Alonso, M. J., y Carrasco-Marín, L. (2003). FAB: aplicación preliminar española de la batería neuropsicológica de evaluación de funciones frontales a 11 grupos de pacientes. *Rev Neurol*, 36(7), 605-608.
- Roebuck-Spencer, T., y Cernich, A. (2014). Epidemiology and societal impact of traumatic brain injury. En *Handbook on the neuropsychology of traumatic brain injury* (pp. 3-23). Springer, New York, NY.
- Rojas, N., Laguë-Beauvais, M., Belisle, A., Lamoureux, J., AlSideiri, G., Marcoux, J., Maleki, M., Alturki, A. Y., Anchouche, S., Alquraini, H., Feyz, M. y de Guise, E. (2018). Frontal assessment battery (FAB) performance following traumatic brain injury hospitalized in an acute care setting. *Applied Neuropsychology: Adult*, 1-12.
- Rose, F. D., Brooks, B. M., y Rizzo, A. A. (2005). Virtual reality in brain damage rehabilitation. *Cyberpsychology y behavior*, 8(3), 241-262.
- Sánchez-Nieto, J. M., Villa Rodríguez, M. Á., y Mendoza-Núñez, V. M. (2016). Rendimiento en el test de aprendizaje auditivo verbal de Rey en una

- población de adultos mayores de México. *Revista Mexicana de Neurociencia*, 17(4), 37-44.
- Sandín, B., Chorot, P., Lostao, L., Joiner, T. E., Santed, M. A., y Valiente, R. M. (1999). Escalas PANAS de afecto positivo y negativo: validación factorial y convergencia transcultural. *Psicothema*, 11(1), 37-51.
- Schretlen, D. J., y Shapiro, A. M. (2003). A quantitative review of the effects of traumatic brain injury on cognitive functioning. *International review of psychiatry*, 15(4), 341-349.
- Seli, P., Cheyne, J. A., Barton, K. R., y Smilek, D. (2012). Consistency of sustained attention across modalities: Comparing visual and auditory versions of the SART. *Canadian Journal of Experimental Psychology/Revue canadienne de psychologie expérimentale*, 66(1), 44.
- Sharp, D. J., Scott, G., y Leech, R. (2014). Network dysfunction after traumatic brain injury. *Nature Reviews Neurology*, 10(3), 156.
- Sherer, M., Nick, T. G., Millis, S. R., y Novack, T. A. (2003). Use of the WCST and the WCST-64 in the assessment of traumatic brain injury. *Journal of Clinical and Experimental Neuropsychology*, 25(4), 512-520.
- Shin, H., y Kim, K. (2015). Virtual reality for cognitive rehabilitation after brain injury: a systematic review. *Journal of physical therapy science*, 27(9), 2999-3002.
- Schretlen, D. J., y Shapiro, A. M. (2003). A quantitative review of the effects of traumatic brain injury on cognitive functioning. *International review of psychiatry*, 15(4), 341-349.
- Smolker, H. R., Friedman, N. P., Hewitt, J. K., y Banich, M. T. (2018). Neuroanatomical Correlates of the Unity and Diversity Model of Executive Function in Young Adults. *Frontiers in human neuroscience*, 12.

- Stein, S. C., Georgoff, P., Meghan, S., Mizra, K., y Sonnad, S. S. (2010). 150 years of treating severe traumatic brain injury: a systematic review of progress in mortality. *Journal of neurotrauma*, 27(7), 1343-1353.
- Sternberg, R. J. (2011). *Psicología cognoscitiva*. Cengage Learning.
- Stuss, Donald T. "Functions of the frontal lobes: relation to executive functions." *Journal of the international neuropsychological Society* 17.5 (2011): 759-765.
- Srivastava, A. K., y Cox, C. S. (2018). Traumatic Brain Injury. En *Pre-Clinical and Clinical Methods in Brain Trauma Research* (pp. 1-14). Humana Press, New York, NY.
- Sun, M. K., Nelson, T. J., y Alkon, D. L. (2015). Towards universal therapeutics for memory disorders. *Trends in pharmacological sciences*, 36(6), 384-394.
- Tayim, F. M., Flashman, L. A., Wright, M. J., Roth, R. M., y McAllister, T. W. (2016). Recovery of episodic memory subprocesses in mild and complicated mild traumatic brain injury at 1 and 12 months post injury. *Journal of clinical and experimental neuropsychology*, 38(9), 1005-1014.
- Teasdale, G., Maas, A., Lecky, F., Manley, G., Stocchetti, N., y Murray, G. (2014). The Glasgow Coma Scale at 40 years: standing the test of time. *The Lancet Neurology*, 13(8), 844-854.
- Timmons, S. D. (2018). The challenges of estimating the cost of traumatic brain injury worldwide. *Neurosurgical focus*, 44(5), E8.
- Toyokura, M., Nishimura, Y., Akutsu, I., Mizuno, R., y Watanabe, F. (2012). Selective deficit of divided attention following traumatic brain injury. *Tokai J Exp Clin Med*, 37(1), 19-24.
- Turkstra, L. S., y Politis, A. M. (2017). Traumatic Brain Injury. In *Research in Clinical Pragmatics* (pp. 291-322). Springer International Publishing.

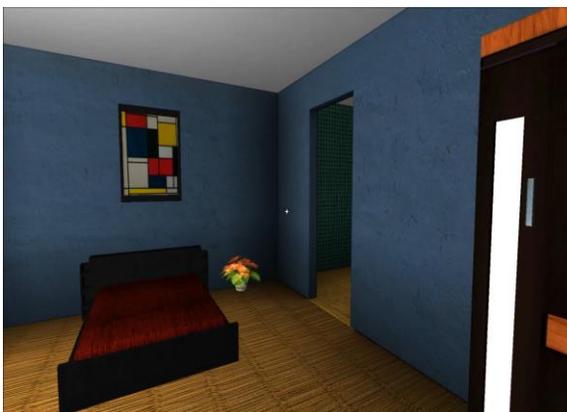
- Vos, P. E., Alekseenko, Y., Battistin, L., Ehler, E., Gerstenbrand, F., Muresanu, D. F., Potapov, A., Stepan, C. A., Traubner, P., Vecsei, L. y Von Wild, K. (2012). Mild traumatic brain injury. *European journal of neurology*, 19(2), 191-198.
- Vossel, S., Geng, J. J., y Fink, G. R. (2014). Dorsal and ventral attention systems: distinct neural circuits but collaborative roles. *The Neuroscientist*, 20(2), 150-159.
- Watson, D., Clark, L. A., y Tellegen, A. (1988). Development and validation of brief measures of positive and negative affect: the PANAS scales. *Journal of personality and social psychology*, 54(6), 1063.
- Wechsler, D. (2014). *Escala Wechsler de Inteligencia para Adultos IV (WAIS-IV). 4ta edición. Editorial Manual Moderno.*
- Whiteneck, G. G., Gerhart, K. A., y Cusick, C. P. (2004). Identifying environmental factors that influence the outcomes of people with traumatic brain injury. *The Journal of head trauma rehabilitation*, 19(3), 191-204.
- Wiegner, S., y Donders, J. (1999). Performance on the Wisconsin Card Sorting Test after traumatic brain injury. *Assessment*, 6(2), 179-187.
- Williams, A. L. (2018). Traumatic brain injury. En *Physical Management for Neurological Conditions E-Book (pp. 152-171). ELSEVIER*
- Wolf, J. A., y Koch, P. F. (2016). Disruption of network synchrony and cognitive dysfunction after traumatic brain injury. *Frontiers in systems neuroscience*, 10, 43.
- Yan, H., Feng, Y., y Wang, Q. (2016). Altered effective connectivity of hippocampus-dependent episodic memory network in mTBI survivors. *Neural plasticity*, 2016.
- Yue, J. K., Robinson, C. K., Winkler, E. A., Upadhyayula, P. S., Burke, J. F., Pirracchio, R., Suen, C., Deng, H., Ngwenya, L., Dhall, S., Manley, G. y Tarapore, P. (2017). Circadian variability of the initial Glasgow Coma Scale

score in traumatic brain injury patients. *Neurobiology of Sleep and Circadian Rhythms*, 2, 85-93.

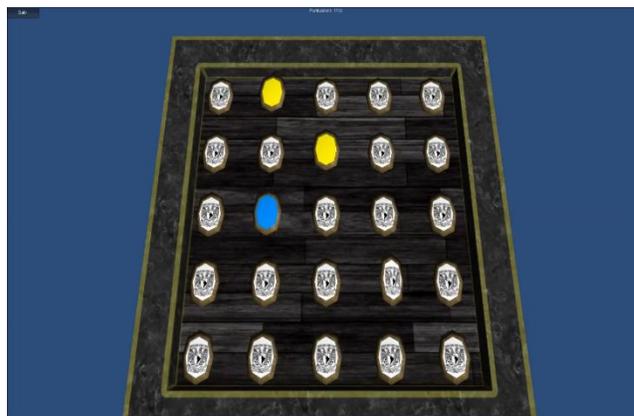
Yue, J. K., Vassar, M. J., Lingsma, H. F., Cooper, S. R., Okonkwo, D. O., Valadka, A. B., Gordon, W. A., Maas, A. I. R., Mukherjee, P., Yuh E. L., Puccio, A. M., Schnyer, D. M., Manley, G. T., Casey, S. S., Cheong, M., Dams-O'Connor, K. D., Hrick, A. J., Knight, E. E., Kulubya, E. S., Menon, D. K., Morabito, D. J., Pacheco, J. L y Sinha, T. K. (2013). Transforming research and clinical knowledge in traumatic brain injury pilot: multicenter implementation of the common data elements for traumatic brain injury. *Journal of neurotrauma*, 30(22), 1831-1844.

Zickefoose, S., Hux, K., Brown, J., y Wulf, K. (2013). Let the games begin: A preliminary study using Attention Process Training-3 and Lumosity™ brain games to remediate attention deficits following traumatic brain injury. *Brain injury*, 27(6), 707-716.

## ANEXO 1. Batería Sistemica de Lisboa.



Recámara en el escenario virtual con diversos ejercicios a realizar.



Actividad de emparejamiento de estímulos para atención y memoria de trabajo.



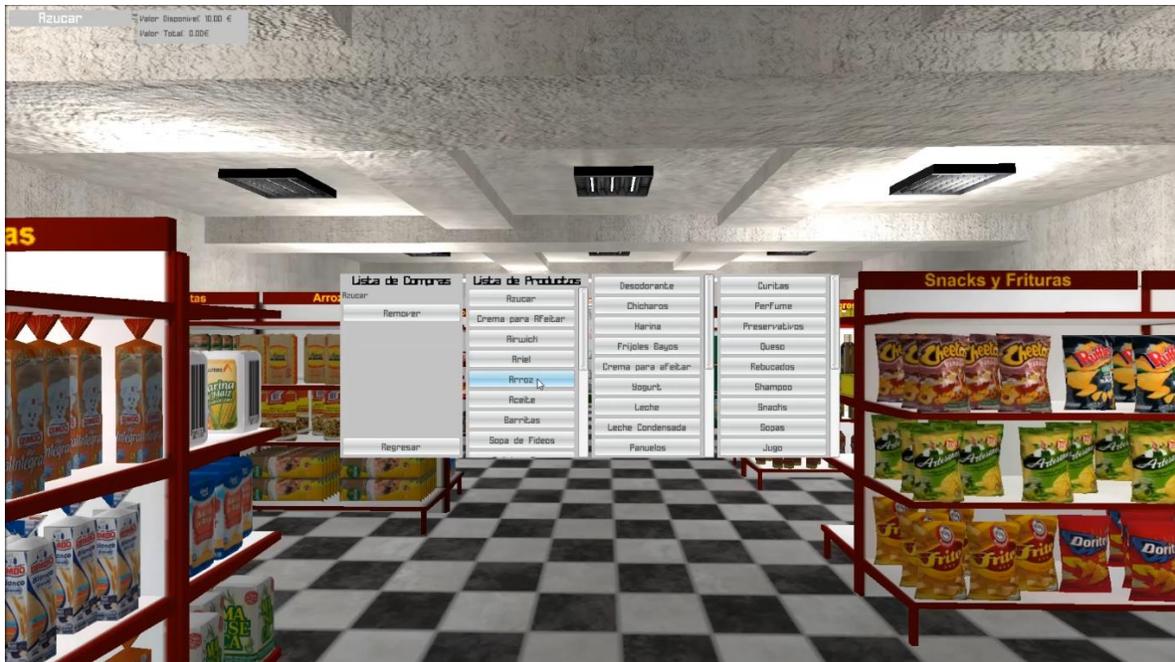
Actividad de preparación de alimentos con diversos grados de dificultad para atención sostenida y memoria de trabajo.



Muestra de la ciudad en realidad virtual con diversos edificios con actividades a realizar.



Muestra de la simulación de un supermercado en el cual el participante debe realizar actividades de compras.



Otra simulación de un supermercado diferente que permite listas de compras modificables a requerimiento del evaluador para diversas actividades.



Simulación virtual de una farmacia en la que se requiere al participante conseguir diferentes objetos.



Simulación virtual de una galería de arte donde los cuadros requieren diversas actividades de carácter ejecutivo, memoria y atención.



Actividad que requiere encontrar las diferencias entre dos estímulos, con diversos grados de dificultad.



Al escanear éste código se podrá acceder a un video demostrativo de la plataforma virtual.