



SISTEMA PARA EL ENTRENAMIENTO DE LA MEMORIA DE TRABAJO EN
ADULTOS MAYORES USANDO PROCESOS DE NEUROREHABILITACIÓN E
INTERFAZ HUMANO-COMPUTADOR PORTABLE

LEIDY JOHANNA VILLEGAS JARAMILLO

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE MANIZALES
FACULTAD DE INGENIERÍA
MAESTRÍA EN INGENIERÍA
MANIZALES
2018

SISTEMA PARA EL ENTRENAMIENTO DE LA MEMORIA DE TRABAJO EN
ADULTOS MAYORES USANDO PROCESOS DE NEUROREHABILITACIÓN E
INTERFAZ HUMANO-COMPUTADOR PORTABLE

LEIDY JOHANNA VILLEGAS JARAMILLO

Proyecto de trabajo de grado para optar al título de Magister en Ingeniería

Director:

Dr. JOSÉ LUIS RODRÍGUEZ SOTELO

Codirectora:

M.Sc. LUISA FERNANDA MÉNDEZ RAMÍREZ

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE MANIZALES

FACULTAD DE INGENIERÍA

MAESTRÍA EN INGENIERÍA

MANIZALES

2018

DEDICATORIA

Este proyecto de grado está dedicado a Dios, mis padres, esposo e hijo, ya que se convirtieron en un apoyo incondicional que contribuyó a la dedicación, el empeño y esfuerzo que se mantuvo para ser posible su desarrollo.

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Autónoma de Manizales y sus docentes por formarme como Magister en Ingeniería.

De manera especial al Dr. Jose Luis Rogriguez Sotelo, Docente de la Universidad Autónoma de Manizales, asesor y director, por dirigir la realización del proyecto, aportandome su experiencia, carisma, compromiso, acompañamiento y dedicación al desarrollo del mismo.

A la M.sc. Luisa Fernanda Mendez Ramirez codirectora, quien direcciono desde su experiencia el proceso de entrenamiento y validacion de la herrmienta.

A las personas pertenecientes a la Universidad Tecnológica de Pereira Risaralda, por depositar su confianza en mí, brindarme la colaboración y participar activamente en la realización del trabajo práctico, aportando sus recursos técnicos y humanos que hicieron posible la realización del proyecto.

A los participantes que me demostraron el verdadero sentido del servicio a los demás, quienes con su disposición sincera y colaboración permitieron la culminación satisfactoria de este proyecto.

RESUMEN

En este trabajo se realizó la aplicación de un sistema *Brain Computer Interface*, en el cual se desarrollo un sistema para el entrenamiento de la memoria de trabajo en adultos mayores, usando como herramientas el dispositivo *MindWave* de la compañía Neurosky, la interacción de software y procesos de neurorehabilitación.

El objetivo se centró en el desarrollo de un videojuego serio a través de herramienta de desarrollo Unity 3D con metodología de desarrollo ágil extreme programming XP, como medio de estimulación y entrenamiento neuropsicológico usando *Neurofeedback*, al momento de cada entrenamiento se realizó la captura de las ondas cerebrales de los Sujetos con el dispositivo portable que se ubica en la zona prefrontal del cerebro.

Antes y después de los entrenamientos se efectuó la cuantificación del estado de la memoria de trabajo de los adultos mayores con la escala de inteligencia de Wechsler para adultos IV.

Se validó la usabilidad de la herramienta con los participantes por medio de la escala SUS y se compararon los resultados obtenidos en las pruebas neuropsicológicas y los cambios en la atención.

Palabras clave: Envejecimiento, memoria de trabajo, videojuegos serios, tratamiento no farmacológico, *Neurofeedback*, interfaz cerebro-computador BCI.

ABSTRACT

In this work the application of a Brain Computer Interface system was carried out, in which a system for the training of work memory in older adults was developed, using as tools the Neurosky company's MindWave device, the software interaction and Neurorehabilitation processes.

The objective was focused on the development of a serious video game through Unity 3D development tool with agile extreme programming XP development methodology, as a means of stimulation and neuropsychological training using Neurofeedback, at the time of each training the capture of brain rhythms was done. The sensor of handset is located in the patients prefrontal area.

Before and after the training, the quantification of the working memory status of the elderly was carried out with the Wechsler intelligence scale for adults IV.

The usability of the tool with the participants was validated through the SUS scale and the results obtained in the neuropsychological tests and the changes in the attention were compared.

Keywords: Aging, working memory, serious video games, non-pharmacological treatment, Neurofeedback, brain-computer interface BCI.

CONTENIDO

1	PRESENTACIÓN	15
2	ANTECEDENTES	16
3	ÁREA PROBLEMÁTICA Y PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN.....	20
3.1	Descripción del área problemática	20
3.2	FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	24
4	JUSTIFICACIÓN	25
5	REFERENTE TEÓRICO	28
5.1	MEMORIA DEL TRABAJO.....	28
5.2	ENVEJECIMIENTO.....	29
5.3	RIESGOS DE LA VEJEZ.....	30
5.4	TRATAMIENTO NO FARMACOLÓGICO	30
5.5	NEUROFEEDBACK	32
5.6	QUÉ MIDE EL EEG	33
5.7	RITMOS CEREBRALES	34
5.8	RITMO DELTA:.....	34
5.9	RITMO THETA:.....	34
5.10	RITMO ALFA:.....	35
5.11	RITMO BETA:.....	35
5.12	RITMO GAMMA	35
5.13	JUEGOS SERIOS	35

5.14	LA INTERFAZ CEREBRO MÁQUINA.....	36
5.15	MINDWAVE NEUROSKY.....	36
5.16	ATENCIÓN ESENSE CON EL MINDWAVE:.....	37
5.17	PRUEBAS PARA EVALUAR O DIAGNOSTICAR EL ESTADO DE LA MEMORIA DEL TRABAJO.....	38
6	OBJETIVOS	40
6.1	OBJETIVO GENERAL	40
6.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	40
7	METODOLOGÍA.....	41
7.1	TIPO DE ESTUDIO.....	41
7.2	ETAPAS DE LA INVESTIGACIÓN	41
7.3	DESARROLLÓ DE LA HERRAMIENTA DE ENTRENAMIENTO	41
a)	Selección y diseño del entrenamiento de la memoria del trabajo:.....	41
b)	Desarrollo de la herramienta de software con la aplicación de la Metodología XP .	41
7.4	RECOLECCIÓN Y ANÁLISIS DE REQUERIMIENTOS	43
7.5	REQUERIMIENTOS FUNCIONALES:.....	43
7.6	TECNOLOGÍAS	44
c)	Comunicar la herramienta del <i>Neurofeedback</i> portable con la arquitectura de programación del software.	44
7.7	VARIABLES.....	45
8	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	47

8.1	RESULTADOS DE LAS PRUEBAS:	64
9	CONCLUSIONES	66
10	RECOMENDACIONES	68
11	ABREVIATURAS	69
12	REFERENCIAS	70
13	ANEXOS	79

LISTA DE TABLAS

Tabla 1: Ritmos Cerebrales.....	34
Tabla 2 Interpretación resultados algoritmo <i>eSense</i> atención.....	46
Tabla 3 Puntuaciones escalares Dígitos Directos DD, Dígitos Inversos DI y Dígitos Crecientes DC prueba 1.	52
Tabla 4 Media según tabla 6 con respecto al último número de dígitos recordados en la secuencia.	52
Tabla 5 Baremos para SpanDD, SpanDI y SpanDC de la tabla C.4.....	53
Tabla 6 Resultado directo y escalar Subprueba 1 de Dígitos D, Letras y Números LN.....	53
Tabla 7 Índice Memoria de Trabajo IMT con rango percentil en intervalo de confianza de cada Sujeto.	54
Tabla 8 Puntuaciones escalares Dígitos Directos DD, Dígitos Inversos DI y Dígitos Crecientes DC prueba 2.	56
Tabla 9 Media según tabla 11, con respecto al último número de dígitos recordados en la secuencia.	56
Tabla 10 Baremos tabla C.4.....	57
Tabla 11 Resultado directo y escalar Subprueba 2 de Dígitos D y Letras y Números LN..	57
Tabla 12 Índice Memoria de trabajo IMT con rango percentil en intervalo de confianza de cada Sujeto.	58
Tabla 13 Comparación media SpanDD, SpanDI y Span DC de las pruebas, se resaltan los campos en los cuales se presentó cambios entre la prueba pre y post.	60
Tabla 14 Comparativo Índice memoria de trabajo IMT prueba pre y post.....	60
Tabla 15 promedio atención en cada nivel por Sujeto.	63

Tabla 16 Resultados cuestionario SUS 64

LISTA DE FIGURAS

Ilustración 1 MindWave NeuroSky	37
Ilustración 2 Atención y meditación por el algoritmo eSense del MindWave NeuroSky. ...	38
Ilustración 3 Recolección de información.....	43
Ilustración 4 Ingreso al videojuego.....	47
Ilustración 5 Actividad 1	48
Ilustración 6 Actividad 2.....	48
Ilustración 7 Actividad 3.....	49
Ilustración 8 Actividad 4.....	49
Ilustración 9 Actividad 5.....	49
Ilustración 10 Actividad 6.....	50
Ilustración 11 Actividad 6.....	50
Ilustración 12 Actividad 8.....	50
Ilustración 13 Actividad 9.....	51
Ilustración 14 Actividad 10.....	51
Ilustración 15 Entrenamientos y uso de los 10 niveles	55
Ilustración 16 Comparativo Dígitos Directos DD prueba 1 y 2.....	58
Ilustración 17 Comparativo Dígitos Inversos DI prueba 1 y 2.	59
Ilustración 18 Comparativo Dígitos Crecientes prueba 1 y 2.	59
Ilustración 19 Índice memoria de trabajo IMT prueba 1 y 2.	61

Ilustración 20 Niveles de atención durante las 10 sesiones	62
Ilustración 21 Comparación atención nivel 1 y 10.....	63
Ilustración 22 Resultados IMT y Atención inicial y final.....	64

LISTA DE ANEXOS

Anexo 1 Cuestionario SUS	79
Anexo 2 Consentimiento informado	80
Anexo 3 Cuadernillo de respuestas WAIS IV.....	82

1 PRESENTACIÓN

Durante las tres últimas décadas la memoria del trabajo en la senectud ha sido uno de los temas más estudiados dentro del marco de la psicología (Baddeley; 2012); ya que dicho proceso cognitivo está directamente relacionado con la calidad de vida de la persona, a través de ella se efectúan tareas cotidianas como ver televisión y comprender su contenido, realizar operaciones matemáticas, leer documentos, recordar hechos recientes, comprender y mantener conversaciones, llevar a cabo instrucciones, entre otras, que son de uso diario.

La neuropsicología y las neurociencias están estudiando la aplicación de métodos no farmacológicos para diferentes áreas cerebrales, y relacionan la neuroplasticidad cerebral como la respuesta de adaptación del cerebro a nuevas situaciones, posibilitando la sinaptogénesis, conexiones axonales y colaterales (Arroyo, 2002).

En esta investigación se desarrolló un sistema de entrenamiento de memoria de trabajo en adultos mayores con *Neurofeedback*, usando como herramienta el diseño de un videojuego serio que permite a la persona realizar actividades que van orientadas a la estimulación y el entrenamiento de la memoria de trabajo con el uso de un dispositivo portable denominado MindWave de la compañía Neurosky.

2 ANTECEDENTES

Dadas las condiciones que anteceden e incursionando en la era digital y tecnológica, nos dirigimos a los primeros estudios de rehabilitación neuropsicológica mediante el uso de medios informáticos que se remontan a la década de los setenta, cuyos pioneros fueron el NYU Medical Center, el Santa Clara Valley Medical Center, el Rancho Los Amigos, el Hawai State Hospital y el VA Medical Center Palo Alto (Lynch; B; 2006), quienes dieron los primeros pasos para vincular la informática con la neuropsicología.

Una gran modalidad de rehabilitación definida originalmente por el investigador estadounidense Clark Abt (1960) son los videojuegos serios aquellos programas que comparten todas las características de los videojuegos de entretenimiento, pero incorporando al objetivo lúdico que exclusivamente tienen éstos, el de crear un impacto directo en los valores, actitudes o habilidades cognitivas del usuario.

Los videojuegos serios, también conocidos como serious videogames, serious games o persuasive games, son una de las más prometedoras líneas de trabajo en el desarrollo de herramientas de entrenamiento o rehabilitación cognitiva, como afirma Juul (2010), “cambiando los juegos, cambiamos los jugadores” (p. 10).

En ese mismo sentido podemos visualizar como las tecnologías y sus avances han permitido a la población tener acceso con facilidad a programas informáticos, cuyos fines primordiales están dirigidos a la evaluación y rehabilitación neuropsicológica. Dentro los cuales encontramos:

Programa Aire-Gradior (Franco y Orihuela, 1998; Franco, Orihuela, Bueno y Cid, 2000).

Es un software que se basa en las nuevas tecnologías multimedia que permite crear evaluación y rehabilitación de las personas que presentan déficit cognitivo, se caracteriza por su individualización y sistematización. Fue desarrollado por la fundación INTRAS e inicialmente con el nombre de programa Aire (Franco y Orihuela, 1998), su objetivo

principal es brindar a los expertos una herramienta tecnológica que permita efectuar una evaluación neuropsicológica y a través del resultado se inicie la elaboración de un programa de entrenamiento y estimulación de las capacidades cognitivas superiores que se encuentren comprometidas, entre ellas (atención, memoria, percepción y cálculo, entre otras).

Las patologías principales que interviene el software tiene que ver con los procesos demenciales, la esquizofrenia, la parálisis cerebral, el retraso mental, el traumatismo craneoencefálico y todas aquellas que pueden cursar con declive cognitivo (Franco, M. A., et al. 2000).

Programa Rehacom (HASOMED GmbH, 1996)

Sistema computarizado de rehabilitación cognitiva, sirve para entrenar y estimular la atención, la concentración, la memoria, la percepción visual, el pensamiento lógico, la planificación y la solución de problemas, las habilidades visomotoras, las habilidades viso constructivas.

Las tareas que incluye este software tienen la probabilidad de modificar la duración de sesiones. Estímulos, velocidad de respuesta, número de repeticiones, tipos de refuerzos y presentación de instrucciones, busca cada vez más que exista una flexibilidad en el diseño de la tarea para cada usuario según la sintomatología.

La interacción con el ordenador se puede generar a través de la siguiente manera: un teclado especial formado por botones de mayor tamaño que los de un teclado convencional, una pantalla táctil o un comando especial, con el fin de eliminar las dificultades de acceso en personas que presentan déficit sensorio- motores. Por medio del programa se pueden almacenar resultados individuales, seguimientos y la evolución de cada Sujeto a lo largo del tiempo (Tárraga, L., et al. (2006)).

Programa de estimulación cognitiva Smartbrain (educamigos)

Es un sistema interactivo y multimedia el cual está diseñado para realizar entrenamiento en capacidades cognitivas básicas (memoria, atención, orientación, reconocimiento, lenguaje, cálculo y funciones ejecutivas), su finalidad se encuentra centrada en dos funciones específicas; una de ellas en intervenir a personas mayores sanas que comienzan a percibir disminución en el rendimiento cognitivo, la otra consiste en ser utilizada como tratamiento de estimulación cognitiva en patologías que cursan con deterioro cognitivo, como procesos neurológicos degenerativos o daño cerebral sobrevenido.

El programa se puede aplicar de manera personalizada y presenta un área tutorial que permite decidir cuál es el procedimiento indicado para efectuar la estimulación de acuerdo a la sintomatología diagnosticada. Es de anotar que smartbrain está desarrollado por más de 14.000 ejercicios clasificados en siete categorías: Memoria, lenguaje, cálculo, orientación, atención, reconocimiento, capacidades ejecutivas. La graduación del nivel de dificultad se va efectuando de manera automática según los progresos que al Sujeto se le vayan identificando, a través del sistema el terapeuta posee la facilidad de determinar el número de sesiones terapéuticas, la frecuencia semanal con la que se deben hacer y el idioma que se debe emplear.

La eficacia terapéutica del programa se demostró a través de un estudio piloto con enfermos de Alzheimer, en los que se observaban mejoras significativas a lo largo del tiempo en las escalas Mini Mental-MMSE y el test ADAS Cognitivo, así como en la autonomía y la autoestima (Tárraga, L., et al. (2006).

Programa Mindfit, gimnasio de la mente (Cognifit, mind fitness solutions)

Programa informático que va dirigido a la población adulta, permite entrenar funciones cognitivas tales como la coordinación viso manual, la velocidad de procesamiento, la percepción visual y espacial, la exploración y el rastreo visual, la atención (focalizada, sostenida, selectiva, dividida y alternante), la memoria a corto plazo (auditiva y visual), la memoria de trabajo, la estimación del tiempo y de la velocidad, la memoria de nombres, la memoria a largo plazo y el aprendizaje, la planificación y la toma de conciencia. Los resultados obtenidos en las diferentes áreas cognitivas se pueden almacenar en un archivo

individualizado, permitiendo de esa manera analizar la mejoría o estabilización de los déficits existentes.

Otro tipo de entrenamiento existente es el *Neurofeedback* también llamado retroalimentación electroencefalografía, el *Neurofeedback* se convierte en una herramienta que permite innovar nuevas tecnologías en la intervención de problemas mentales y déficits cognitivos, donde por medio de la utilización de interfaces hombre-máquina, se efectúa una tarea cuyo objetivo trata de gestionar la interacción de una persona con un dispositivo.

Por tanto, el uso de las interfaces cerebro-máquina está íntimamente ligado al desarrollo de las distintas tecnologías que permitan la lectura de las distintas señales cerebrales, siendo el estudio del cerebro un campo de investigación relativamente nueva y en ocasiones, controvertido.

Como ejemplo esta Adnan Mehmood et al; (2016) quienes estudiaron como son modificadas las emociones en los seres humanos a través de un estímulo externo en este caso la música, llevado a cabo a través de la extracción de información de las señales EEG registradas mientras sometían a los grupos de estudio a diferentes melodías, en los sujetos de estudio las señales de la zona prefrontal del cerebro son capturadas a través de sensores neuronales que tiene el auricular Mindwave de Neurosky, las cuales dieron reconocimiento de emociones y en los resultados encontraron una forma de clasificación de las emociones de felicidad y tristeza.

Un video juego serio realizado con el Mindwave y enfocado al área de la salud es el denominado “Desafío Cosecha” herramienta para el entrenamiento de la atención sostenida en niños con TDAH usando como mecanismo de acción la neuromodulación de las ondas Theta y Beta a través de un electrodo localizado en la parte central del lóbulo frontal del cerebro por medio del cual el procesamiento de la señal electroencefalográfica es producido automáticamente dentro del videojuego permitiendo generar un reporte de la evolución de la tasa Theta/Beta, un marcador biológico que ha demostrado ser una medida suficiente para discriminar niños con o sin el trastorno (Muñoz et al., 2015).

3 ÁREA PROBLEMÁTICA Y PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN

3.1 Descripción del área problemática

Desde una perspectiva biológica, encontramos que en el envejecimiento todos los sistemas fisiológicos como el cardiorrespiratorio, osteomuscular y renal y las capacidades intelectuales, cognitivas y psicológicas empiezan a declinar (Miquel, 2006).

Al hablarse de envejecimiento cognitivo se hace referencia a un área clave en la psicogerontología actual y es de enorme importancia para el funcionamiento cognitivo íntegro. Hasta el momento no existe una definición única acerca de lo que se entiende por declinar cognitivo, como tampoco está nada claro sobre qué es el envejecimiento normal, pues está determinado por una multitud de procesos: medioambientales, genéticos, socioculturales, aleatorios, entre otros, los cuales permiten establecer que los diferentes procesos cognitivos cambian a ritmos diferentes a lo largo del envejecimiento (Adrados, H.P 2008).

Por lo tanto, se puede establecer que cuando un ser humano llega a la senectud, las funciones que con ella se relacionan empiezan a presentar un declive que produce disminución en la capacidad de memoria y aprendizaje, al igual que incrementa la tasa de olvido al tiempo que disminuye la capacidad para adquirir nueva información. Estas dificultades se inician hacia la quinta década de la vida y va en aumento de manera progresiva, presentándose de manera lenta en el envejecimiento normal (Ardila y Rosselli, 2007).

De acuerdo a lo anterior se puede evidenciar que una de las funciones cognitivas que decrece a medida que va aumentando la edad, es la memoria de trabajo ya que implica mantener de forma consciente la información y al mismo tiempo trabajar con la misma, de manera que pueda almacenarse a largo plazo en la memoria permanente.

Por consiguiente “memoria de trabajo o memoria operativa” es utilizada para referirse a un sistema de memoria temporal, que actúa bajo el control atencional y que sostiene nuestra capacidad de pensamiento complejo (Baddeley, 2012). La memoria de trabajo puede ser

afectada por los efectos del envejecimiento, lo cual dificulta la rapidez y exactitud en el procesamiento de información, situación que se evidencia al comparar las tareas de memoria de trabajo en el desempeño entre jóvenes y adultos mayores; Lo anterior se debe porque durante la vida de una persona, la memoria de trabajo sufre un proceso de crecimiento que al perecer ocurre entre los 0 y 20 años, al igual que un proceso de declive normal que se presenta como efecto del envejecimiento que comienza aproximadamente a los 30 años (Chiappe, 2000). Las diferencias más importantes son observadas en personas sobre los 60 años de edad y en aquellos que padecen de alguna patología degenerativa nerviosa o secuela de daño encefálico en la corteza prefrontal (Cox et al., 2003).

En efecto, Blasco y Meléndez (2006), Park y Schwarz (2002) van un paso más adelante y relacionan la memoria de trabajo con el procesamiento de la información. Estos autores dicen que el enlentecimiento en memoria de trabajo produce dificultades en el registro, procesamiento y en la recuperación de información. Sin embargo, debemos destacar que, pese a estos cambios, el cerebro en el adulto mayor puede mantenerse activo mediante nuevos aprendizajes, gracias a la plasticidad neuronal (Binotti, Spina, Barrera y Donolo, 2009) y sobre todo al concepto de reserva cognitiva (Stern, 2006, 2009). Este concepto propone que la sintomatología asociada al envejecimiento normal y patológico no se relaciona directamente con la cantidad de daño cerebral. Esta postura parece tener su base material en estructuras frontales (Daselar y Cabeza, 2005; Cabeza, 2002).

Por otro lado, desde el punto de vista tecnológico, existen técnicas de entrenamiento denominada *biofeedback* mediante las cuales una persona puede obtener información acerca de algún proceso fisiológico o psicofisiológico (con la ayuda de un dispositivo especializado) tal como la temperatura de la piel, ritmo cardíaco, tensión muscular, actividad cerebral, entre otras, con el propósito de aprender a modificar dicho proceso de manera voluntaria (Evans, 2007).

Una de las técnicas de *biofeedback* es denominada *Neurofeedback* (también conocido como EEG *biofeedback*), se puede definir como una técnica de intervención mediante la cual una persona aprende a regular sus propias frecuencias electroencefalográficas (Coben & Evans, 2011).

La técnica de *Neurofeedback* utilizada en los procedimientos de entrenamiento posee sistemas integrados de análisis, pero no son amigables con el usuario y requieren de una motivación y atención especial por parte del Sujeto (Lofthouse, N. et al 2012). El entrenamiento puede volverse laborioso, ya que se necesitan varias sesiones para obtener resultados (Larsen & Sherlin, 2013). Además, requiere de un personal clínico especializado, entrenado en el manejo de la técnica (Serman & Egner, 2006). Por último, y no menos importante, en la actualidad los aparatos necesarios para ejecutarlo son costosos. (Serman & Egner, 2006).

Entre las limitaciones del uso del ordenador con fines rehabilitadores podemos mencionar la falta de familiaridad de algunas personas con dicho soporte, las dificultades de aprendizaje de su uso, la ausencia de contacto humano, y la inexistencia de un *Neurofeedback* centrado en el proceso de entrenamiento de la memoria de trabajo para adultos mayores (Carnino, 2007).

Estudios recientes abordan la posibilidad del uso de sistemas cerebro-ordenador (Brain-Computer Interfaces, BCIs) para restaurar la plasticidad cerebral mediante la estimulación endógena repetitiva de la señal cerebral obtenida a partir del electroencefalograma (EEG) (Gómez et al. 2014). Una forma de llevarlo a cabo es mediante el aprendizaje de la activación o desactivación de ciertas regiones corticales mediante tareas de imaginación motora. De esta forma, aparecen novedosos métodos basados en entrenamiento neurocognitivo (*Neurofeedback Training*, NFT) que comienzan a demostrar su eficacia como herramienta de rehabilitación cognitiva (Vernon; 2005), de igual forma (Gazzaley; et al; 2010) ofrece evidencia crítica del beneficio que el entrenamiento perceptivo en el desempeño de memoria de trabajo en adultos mayores. Presentó los datos neuronales de la plasticidad relacionada con el entrenamiento en adultos mayores e identificó un marcador neuronal de transferencia de entrenamiento perceptual que se correlaciona con la mejora del rendimiento de Memoria del trabajo.

Por tanto, aunque existen varios estudios que evalúan cambios espectrales y cognitivos de manera conjunta, ninguno evaluó las virtudes conjuntas de los sistemas BCI y protocolos NFT orientados a mejorar la plasticidad cerebral mermada por los efectos del

envejecimiento (Angelakis, E; 2007), ni se encontró un software interactivo que permitiera a través del uso de *Neurofeedback* mejorar el declive de la memoria de trabajo en los adultos mayores.

3.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

¿Qué incidencia tiene la aplicación de protocolos de neurorehabilitación, usando como herramientas la interacción de *software*, procesos de *Neurofeedback* e interfaces humano-computador portables en el entrenamiento de la memoria de trabajo en adultos mayores?

4 JUSTIFICACIÓN

El envejecimiento es un fenómeno que aumenta progresivamente en todo el planeta, derivado de las transformaciones económicas, sanitarias y sociales. La menor tasa de nacimientos, sobre todo en países desarrollados, y los avances médicos permiten que cada vez haya mayor cantidad de gente adulta mayor en nuestros países. Esto trae consigo una mayor prevalencia e incidencia de enfermedades, entre ellas las enfermedades neurodegenerativas. Según datos de la Organización Mundial de la Salud (OMS), en el año 2015 el porcentaje de adultos mayores de 60 años alcanzaba el 12%, mientras que las estimaciones para el 2050 indican que la población de estas edades alcanzará el 22% a nivel mundial (Estadísticas Sanitarias Mundiales, 2016).

Quienes Investigan el envejecimiento cognitivo, y proponen fundamentalmente cuatro posibles causas que explican las diferencias que se producen en el procesamiento cognitivo con la edad, hay un déficit en la velocidad del proceso de la información, en el funcionamiento de la memoria de trabajo, en el funcionamiento sensorial y en la función inhibitoria (Soledad Ballesteros et al., 2002, p. 392). Con el aumento de la edad, se produce una disminución en la velocidad de procesamiento, la amplitud de la memoria de trabajo se reduce, hay una pérdida de la agudeza sensorial y las personas mayores tienen dificultad para centrar la atención en la información relevante sin distraerse con estímulos irrelevantes que puedan estar presentes al realizar una tarea (Hasher y Zacks, 1988, Ballesteros et al., 2005).

Basado en lo anterior, se hace necesario establecer estrategias y crear herramientas que permitan al adulto mayor entrenar las dificultades cognitivas que están presentando, de igual forma estimular las que se encuentran intactas con el fin de compensar y evitar un declive posterior. Contribuyendo de esa forma a que se adquiriera un envejecimiento satisfactorio.

Peña (1999), indica acerca de las funciones que cumplen los tratamientos no farmacológicos para tratar la memoria operativa en el envejecimiento y relaciona las

ventajas y lo que permite realizar su aplicación en los ítems que se relacionan a continuación:

- a) estimular y mantener las capacidades mentales;
- b) evitar la desconexión del entorno y fortalecer las relaciones sociales;
- c) estimular la propia identidad y autoestima;
- d) minimizar el estrés y evitar reacciones psicológicas anómalas;
- e) mejorar el rendimiento cognitivo;
- f) mejorar el rendimiento funcional;
- g) incrementar la autonomía personal en las actividades de la vida diaria;
- h) mejorar el estado y sentimiento de salud;
- i) mejorar la calidad de vida del Sujeto y de los familiares y/o cuidadores.

Según lo anterior se hace importante mencionar la existencia del *Neurofeedback* como una herramienta que posee propiedades para ser aplicadas a diferentes tipos de personas, ya que busca que el sujeto, por medio del condicionamiento operante, aprenda a controlar la actividad eléctrica cerebral, la cual constituye una función fisiológica inconsciente, aumentando la frecuencia de ondas cerebrales deseadas y suprimiendo las no deseadas (Friel, 2007). El *Neurofeedback* ha sido muy estudiado para el tratamiento de trastornos de epilepsia, ansiedad, depresión, trastornos del aprendizaje (Thompson, Thompson & Reid, 2010) y, particularmente, se encuentran una gran variedad de estudios relacionados con el TDAH (Masterpasqua & Healey, 2003; Heinrich, Gevensleben & Strehl, 2007; Legarda, McMahon, Othmer & Othmer, 2011; Gruzelier & Egner, 2005; Thompson & Thompson, 2005), son pocos los estudios realizados para la aplicación de la memoria del trabajo.

Las nuevas tecnologías basadas en internet y en consolas de videojuegos han sido usadas por profesionales de la salud para el tratamiento de cáncer, asma (Kato, 2010), diabetes, autismo (Piana, Staglianò, Camurri, & Odone, 2013) y desordenes de conducta alimenticia (Fagundo, Santamaría, Forcano, Giner-Bartolomé, Jiménez-Murcia, Sánchez & Konstantas, 2013; Majumdar, Koch, Lee, Contento, Islas-Ramos & Fu, 2013). Un ejemplo de esta tendencia es el desarrollo de López, Muñoz, Henao & Villada (2013), quienes han creado una interfaz de videojuegos basada en el Microsoft Kinect, a través de un juego que implica actividad física, también llamado *Exergame*; este tipo de interfaces han resultado de gran

utilidad para la rehabilitación motora y en la actualidad se analiza su utilidad para evaluar procesos atencionales en combinación con técnicas de electro-encefalografía (Ospina, Parrado, Henao, & López, 2014).

Basados en lo anterior, se hace necesario diseñar y crear una herramienta computacional que genere constancia y motivación en los procesos de entrenamiento y que se encuentre soportado por el *Neurofeedback*, con el fin de obtener resultados favorables en los adultos mayores.

Los equipos de *Neurofeedback* tienen un costo elevado, requieren procedimientos complejos y de especialistas en el área para obtener resultados, de tal manera surge la necesidad de utilizar sistemas portables de bajo costo para realizar los procesos de entrenamiento de la memoria de trabajo en escenarios que estén adecuados al contexto social de los mayores.

Actualmente existen herramientas humano máquina, específicamente interfaces cerebro computador (BCI por sus siglas en inglés) portable de bajo costo que cuyo funcionamiento tecnológico se puede comparar con equipos de laboratorio.

Teniendo en cuenta las anteriores temáticas y según el DANE en su encuesta 2018 indica que la población adulta mayor con respecto al 2005 se ha triplicado en Colombia, mostrando una proyección a 2020 en la cual por cada dos (02) adolescentes se tendrá un (01) adulto mayor, hechos que traen consigo un gran número de variables que requieren intervención desde todos los campos (familiar, social, entre otros) para garantizar unas condiciones mínimas de salud y calidad de vida del adulto mayor, hechos que abren la posibilidad de investigar en la adaptación de una herramienta computacional utilizando procedimientos de *Neurofeedback* e interfaz humano maquina portables de bajo costo, para dinamizar y fortalecer los procesos de entrenamiento de la memoria del trabajo para prevenir y contrarrestar los efectos de la vejez.

5 REFERENTE TEÓRICO

5.1 MEMORIA DEL TRABAJO

Uno de los componentes integrados en los lóbulos frontales son la memoria de trabajo como la capacidad para mantener la información ‘online’, la orientación y adecuación de los recursos atencionales, la inhibición de respuestas inapropiadas en determinadas circunstancias y la monitorización de la conducta en referencia a estados motivacionales y emocionales del organismo. De manera más concreta, estas funciones pueden agruparse en torno a una serie de componentes como son las capacidades implicadas en la formulación de metas, las facultades empleadas en la planificación de los procesos, las estrategias para lograr los objetivos y las aptitudes para llevar a cabo esas actividades de una forma eficaz (Tirapu-Ustárrroz, J Muñoz-et al, 2005). (Baddeley, 2007; Baddeley, 2012) define la memoria de trabajo como un sistema encargado de retener y administrar la información temporalmente para la realización de una tarea específica, basado en tres componentes principales: un sistema de atención controlador denominado sistema ejecutivo central, encargado del control atencional de la memoria de trabajo, supervisar y coordinar otros dos sistemas subordinados subsidiarios, denominados: (a) bucle articulatorio o fonológico, encargado de la manipulación de la información basada en el lenguaje, y (b) la agenda viso espacial, relacionada con la creación y manipulación de imágenes visuales.

Lo descrito anteriormente, indica que la memoria de trabajo es necesaria para llevar a cabo acciones que resultan aparentemente simples, como ver la televisión, comprender una película, comprender una conversación, llevar a cabo una serie de instrucciones, tomar decisiones, leer un libro, estudiar para un examen, escribir un ensayo, prestar atención a una serie de estímulos, elegir estrategias frente a los problemas, planear la semana, recordar una cita, entre otras. Y como consecuencia su declive puede afectar la afectividad, independencia en la vida cotidiana y la calidad de vida de las personas que la presenten.

La Memoria del Trabajo es la retención temporal de un ítem de información, para la solución de un problema o para una operación mental. Es una memoria “para el corto

plazo” más que una memoria “de corto plazo”. Otra manera de definirla es como la atención centrada en una representación interna (Fuster, 2002).

En los últimos 30 años, la concepción de la memoria a corto plazo se ha ampliado. Este concepto ya no sólo hace referencia al mantenimiento “en la mente” de información que no se halla en el ambiente, sino que también hace alusión a la manipulación y transformación de esta información para planificar y guiar nuestra conducta. El concepto de Memoria del trabajo MT o memoria operativa (working memory) trata de aglutinar esta rica concepción (Tirapu- Ustárroz & Muñoz, 2002).

5.2 ENVEJECIMIENTO

El envejecimiento hace parte esencial de los procesos que van cumpliendo los seres humanos y se caracteriza por ser heterogéneo, intrínseco e irreversible; a lo largo del cual se acumulan necesidades, limitaciones, cambios, pérdidas, capacidades, oportunidades y fortalezas humanas (MPS, 2017). Inicia con la concepción, se desarrolla durante el curso de vida y termina con la muerte. Es un proceso complejo de cambios biológicos y psicológicos de los individuos en interacción continua con la vida social, económica, cultural y ecológica de las comunidades, durante el transcurso del tiempo.

La edad de la vejez puede ser conceptualizada al menos con base a tres sentidos diferentes: cronológico, fisiológico y social. La edad cronológica o de calendario es esencialmente biológica y se manifiesta en niveles de trastorno funcional. Se refiere a la edad en años. Según este criterio, la vejez se define a partir de los 60 o 65 años, y a menudo es fijada por ley bajo denominaciones como “adulto mayor” o “persona adulta mayor”. Desde esta perspectiva, el envejecimiento lleva consigo cambios en la posición del sujeto en la sociedad, debido a que muchas responsabilidades y privilegios –sobre todo aquellos asociados al empleo– dependen de la edad cronológica (Arber y Ginn, 1995).

La edad fisiológica se refiere al proceso de envejecimiento físico que, aunque vinculado con la edad cronológica, no puede interpretarse simplemente como la edad expresada en años. Se relaciona más bien con la pérdida de las capacidades funcionales y con la gradual

disminución de la densidad ósea, el tono muscular y la fuerza que se produce con el paso de los años (Arber y Ginn, 1995).

Por último, la edad social alude a las actitudes y conductas que se consideran adecuadas para una determinada edad cronológica (Arber y Ginn, 1995).

Dentro de los cambios biológicos de las personas por la edad, se encuentran los ocurridos en los lóbulos frontales que se hallan implicados en la secuenciación de los actos motores requeridos para ejecutar eficazmente una acción. Su función se extiende hacia el control de los procesos cognitivos. Así, un sólido cuerpo de evidencia científica demuestra los lóbulos frontales como estructura cerebral donde se halla implicada la ejecución de operaciones cognitivas específicas tales como memorización, meta cognición, aprendizaje y razonamiento (Tirapu-Ustároz, J Muñoz-et al, 2005).

5.3 RIESGOS DE LA VEJEZ

Las personas mayores tienen un riesgo elevado de padecer algunas enfermedades como el Alzheimer, Párkinson, Demencia senil, stroke, Ictus, entre otras, que repercutan en el estado de su cognición, y este riesgo aumenta cuando las condiciones ambientales son poco estimulantes (Pascual, Barlés, Laborda y Loren, 1998). De ahí, la importancia de tomar la Psico-estimulación Cognitiva como un proceso de mejoramiento en la calidad de vida de las personas a las cuales se les aplique procesos de estimulación de las funciones cognitivas: atención, memoria, comprensión, orientación temporal, espacial.

5.4 TRATAMIENTO NO FARMACOLÓGICO

Las terapias no farmacológicas (TNF), representan un conjunto de intervenciones orientadas a estimular el rendimiento de los procesos cognitivos, mejorar la afectividad, potenciar la independencia en la vida cotidiana y en última instancia, incrementar la calidad de vida de las personas. (Caraballo, et al, 2012)

Resulta oportuno relacionar que el entrenamiento cognitivo puede hacer más fluidas las funciones mentales, de modo que exista mayor facilidad en ejecutar las tareas cotidianas. Esto se debe a que nuestro cerebro posee la capacidad de crear nuevas conexiones con otras

neuronas y estabilizar dichas conexiones a consecuencia de la experiencia, el aprendizaje y la estimulación sensorial y cognitiva, actividad conocida como (neuroplasticidad cerebral). En efecto las terapias de entrenamiento y rehabilitación en los adultos mayores sanos se podrían brindar a través de la estimulación cognitiva, como una de las técnicas más empleadas como tratamiento no farmacológico (Pérez Pardo, 2003). Es importante en todas sus dimensiones, ya que pretende disminuir los síntomas afectivos y conductuales que presentan los adultos mayores como consecuencia del declive en la memoria de trabajo.

El concepto de terapias no farmacológicas (TNF) se utiliza desde hace varias décadas para referirse a intervenciones que, a través de agentes primarios no químicos, pretenden mejorar la calidad de vida de las personas sanas o enfermas. El campo potencial de las TNF es muy amplio: abarca muchas patologías y técnicas de índole física, físico-química, psicosocial, motora y ambiental además de ser un pilar fundamental para el manejo de las enfermedades crónicas (Javiera, F; Jean, J. 2012).

Las TNF comenzaron a aplicarse de forma sistemática por parte de varios grupos de profesionales (terapeutas ocupacionales, psicólogos, fisioterapeutas, etc.) en un intento de paliar los efectos de estos procesos, por falta de tratamientos curativos. El primer estudio publicado aparece bajo el título de “Tratamiento experimental de la confusión senil persistente”. (Cosin et al., 1958).

Poco después aparecieron las primeras comunicaciones acerca de los efectos beneficiosos de la orientación a la realidad, que hoy englobamos dentro del concepto más amplio de estimulación cognitiva (Taulbee y Folsom, 1966).

En su revisión de 1977, Woods y Britton clasifican las “intervenciones psicológicas en los ancianos” en: orientación a la realidad, programas de estimulación y actividades, tratamiento ambiental e intervenciones conductuales.

Entre 2004 y 2006 un grupo de expertos de Europa, América, Asia y Oceanía coordinados por los autores del (NPT Project), dilucidó sobre cuestiones de definición y taxonomía en el terreno que nos ocupa (Olazarán et al. 2006). En cuanto a la denominación, se barajaron varias alternativas (intervenciones psicosociales, intervenciones no farmacológicas, etc.) que finalmente culminaron con la aceptación del término de “TNF”. Este término, a pesar de ser negativo, tiene la ventaja de ser intuitivo y amplio, y de utilizar el término “terapia”,

que conlleva implicaciones éticas y políticas. Si, al igual que un fármaco, una TNF resulta ser “terapéutica”, ésta deberá ser igualmente reembolsada por las entidades proveedoras de servicios sanitarios.

Para la obtención de beneficios cognitivos y funcionales, el propio instituto estatal británico NICE recomienda la estimulación cognitiva por delante de los fármacos (National Institute for Health and Clinical Excellence 2006).

En muchas ocasiones, las TNF se utilizarán junto con fármacos, buscando sumar o incluso potenciar efectos (Olazarán et al., 2004; Onder et al., 2004). Pero mientras los fármacos no consigan avances significativos seguiremos necesitando de las TNFs como tratamiento para mejorar la calidad de vida de Sujetos, familiares y profesionales.

5.5 NEUROFEEDBACK

La realimentación neurológica es una de las denominadas técnicas de biorretroalimentación, mediante las cuales una persona puede obtener información acerca de algún proceso fisiológico o psicofisiológico (con la ayuda de un dispositivo especializado) tal como la temperatura de la piel, tasa cardíaca, tensión muscular, actividad cerebral, etc., con el propósito de aprender a modificar dicho proceso de manera voluntaria (Evans, 2007).

En el caso del *Neurofeedback*, el proceso psicofisiológico lo constituye la actividad bioeléctrica del cerebro, la cual es detectada mediante electrodos colocados sobre el cuero cabelludo y posteriormente amplificada por un dispositivo que transfiere la señal a un programa informático que convierte la señal analógica proveniente del cerebro en señal digital. Esta señal digital se presenta al sujeto de forma visual mediante un monitor y también de forma auditiva mediante altavoces o auriculares, todo ello en tiempo real. Con entrenamiento y práctica, el sujeto aprende a regular las frecuencias acordes a un programa que ha de diseñarse previamente.

El *Neurofeedback*, también llamado retroalimentación electroencefalográfica, es un tratamiento neuro-comportamental destinado a la adquisición de autocontrol sobre determinados patrones de actividad cerebral y la aplicación de estas habilidades en las

actividades de la vida diaria, que enseña al cerebro a obtener un adecuado estado y mantenerlo, reforzando la capacidad para autorregularse. (Monastra V; et al, 2002), el *Neurofeedback* es un tratamiento neurocomportamental destinado a la adquisición de autocontrol sobre determinados patrones de actividad cerebral y la aplicación de estas habilidades en las actividades de la vida diaria, en la actualidad existen diversos estudios y aplicaciones en temas como atención, autismo, depresión, desarrollo de habilidades entre otras, existen avances realizados en Europa y en Taiwán donde se encontraron resultados positivos a la aplicación de las técnicas de *Neurofeedback* (Wang JR et al, 2013).

Para (vernon et al., 2004) las sesiones de entrenamiento con *Neurofeedback* pueden durar de 30 a 60 minutos cada una, dependiendo de las características del individuo y su capacidad de concentración. Con respecto a la frecuencia de éstas, se establece que pueden ser de una sesión por día a una por semana, con una media de dos a tres sesiones semanales; sin embargo, hasta ahora no está claro si la frecuencia tiene una relación con la rapidez de los resultados positivos. Los cambios positivos en el EEG se ven reflejados con mínimo 20 sesiones y máximo 40, sin embargo, aún no se establece qué variable podría predecir el número de sesiones requeridas.

5.6 QUÉ MIDE EL EEG

El electroencefalograma (EEG) mide las oscilaciones del potencial bioeléctrico del cerebro mediante el uso de electrodos colocados en el cuero cabelludo (Nunez & Srinivasan, 2006; Tatum, 2007). Éstas oscilaciones son producidas tanto por zonas corticales próximas al sitio donde se ha colocado el electrodo, como por estructuras subcorticales tales como el tálamo y la formación reticular (Mulert & Lemieux, 2010).

A este potencial bioeléctrico cerebral se le denomina actividad cerebral espontánea y se delimita en bandas de frecuencia medidas en Hertz (ciclos por segundo). Para facilitar su estudio e interpretación, se ha acordado dividir esta actividad cerebral espontánea en cinco rangos o bandas de frecuencias que van desde la banda delta (0,5 a 3,5 Hertz) hasta la mayor en la escala, la banda gamma (> 40 Hertz). Los valores en Hertz son aproximados

para cada banda de frecuencias EEG ya que existen variables como la edad o el tipo de registro que pueden inducir pequeñas diferencias entre autores a la hora de definir las frecuencias que determina los límites de una banda (Mulert & Lemieux, 2010; Nunez & Srinivasan, 2006; Tatum, 2007).

5.7 RITMOS CEREBRALES

Tabla 1: Ritmos Cerebrales

Ritmos	Banda de frecuencia (Hz)	Amplitud (μV)
Delta (δ)	0,5 – 3,5	20 – 200
Theta (θ)	4 – 7	20 – 100
Alfa (α)	8 – 13	20 – 60
Beta (β)	14 – 30	0 2 – 20
Gamma	30-100	29 – 200

5.8 RITMO DELTA:

Son las ondas de mayor amplitud y menor frecuencia. Nunca llegan a cero, pues eso significaría la muerte cerebral. Es un estado de sueño profundo. Si se presenta en un sujeto despierto puede derivarse a un síntoma patológico.

5.9 RITMO THETA:

Se trata de un estado de meditación profunda. A menudo, una persona tiene las mejores ideas cuando predominan este tipo de ondas. Se trata de un estado en el que las tareas realizadas se han vuelto tan automáticas, que no se necesita tener un control consciente de su realización, como ejemplo la persona que, tras conducir un rato, de repente se da cuenta

de que no recuerda como ha hecho los últimos kilómetros. Se dice que es un estado de inspiración de ideas y soluciones creativas.

5.10 RITMO ALFA:

Se produce en cualquier persona con los ojos cerrados o en estado de relajación y poca actividad mental. Este ritmo se atenúa con los ojos abiertos. Es más prominente en la región posterior del cerebro.

5.11 RITMO BETA:

Se producen en estados de concentración mental, son ondas amplias y rápidas, denotan una actividad mental intensa como cuando una persona está dando un discurso, estudiando, realizando un problema de matemáticas, etc.

También se encuentra estrechamente relacionadas con el movimiento de las extremidades y se detecta principalmente en la región central y frontal del cerebro; onda cerebral de mayor énfasis en este proyecto, tomando como referencia el estudio desarrollado por el Instituto Picower para el Aprendizaje y la Memoria del MIT, por los investigadores Mikael Lundqvist y Earl Miller donde los resultados conducen a teorizar que los ritmos beta actúan como un mecanismo de control de la memoria de trabajo.

5.12 RITMO GAMMA

Expresan una activación neuronal excepcional, referida a un estado de intenso estrés, de confusión, o también a momentos de creación o resolución de problemas. No aparecen durante el sueño (Buzsaki, G. 2006).

5.13 JUEGOS SERIOS

De forma resumida, se puede entender que los "juegos serios" (serious games) son juegos diseñados para conseguir uno o varios objetivos además de la diversión. Estos objetivos

suelen ser el entrenamiento de habilidades o la adquisición de conocimientos. Son múltiples las fuentes que pueden consultarse para ver cómo se definen estos recursos, no obstante, la mayoría coinciden con la definición que se acaba de dar (Marcano, 2008). Aunque lo de serio y juego puede parecer contradictorio, la expresión juego serio no puede considerarse un oxímoron. En realidad, se califican de serio porque la finalidad de los juegos es la consecución de un objetivo que es independiente de la propia diversión del juego (aprender algo nuevo, aumentar la productividad, etc.).

5.14 LA INTERFAZ CEREBRO MÁQUINA

Sistemas de interfaz cerebro-computadora o BCI (Brain-Computer Interface, por sus siglas en inglés), tienen como idea principal capturar las manifestaciones eléctricas, magnéticas o de otro tipo de la actividad cerebral de los deseos de comunicación del usuario y traducirlas en órdenes que son interpretadas y ejecutadas por una computadora u otro dispositivo. (Mitsuo, Kawato. 2008).

En las últimas dos décadas, se ha producido un rápido progreso en este tipo de interfaces que proporcionan un vínculo claro entre lo humano y una máquina externa, dado que en un principio fueron utilizados como un medio para la comprensión de los mecanismos básicos a través del cual el sistema nervioso controla el movimiento (Litvintsev, A. I. (1968).

Esta tecnología ha sufrido muchos cambios a lo largo de la historia, siempre en persecución de una mayor accesibilidad y usabilidad por parte de los usuarios (Minguez, 2010).

5.15 MINDWAVE NEUROSKY

El MindWave Mobile 2 mide y emite de forma segura los espectros de potencia de EEG (ondas alfa, ondas beta, etc.), los medidores NeuroSky a través de un algoritmo desarrollado y patentado por la compañía de nombre eSense define los niveles de los estados cognitivos (atención, meditación) en una escala entre 0-100. El auricular EEG posee un electrodo de referencia ubicado en el brazo del sensor que se coloca en la posición FP1 de la zona prefrontal del sujeto y un electrodo tierra que se sitúa en el oído del sujeto.

Ilustración 1 MindWave NeuroSky



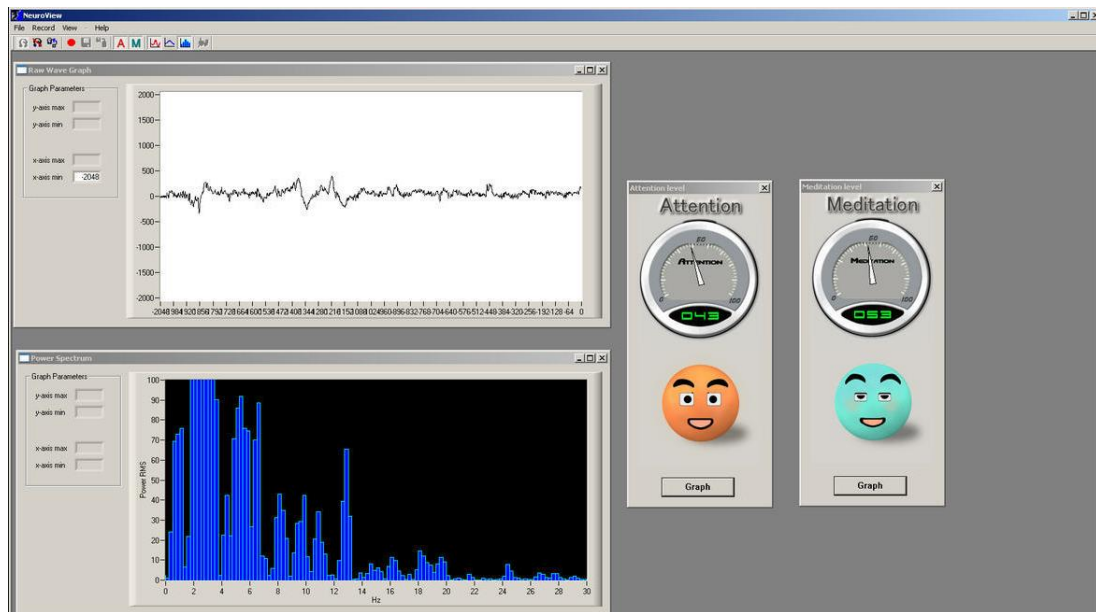
5.16 ATENCIÓN ESENSE CON EL MINDWAVE:

El medidor eSense para la Atención indica la intensidad del nivel de un usuario de "foco" mental o "atención", tal como la que se produce durante la concentración intensa y dirigida. Generalmente, la atención se puede controlar a través de un enfoque visual, centrarse en una idea singular.

Recomendaciones del fabricante que favorecen el control sobre los valores de atención:

- Identificar y mantener un pensamiento concreto
- Enfocar la mirada en un objeto en concreto
- Concentrarse en algo que le gusta.
- Hacer un cálculo matemático
- Escuchar intensamente cuando alguien habla
- Dar un discurso
- Cantar una canción silenciosamente
- Imaginar una acción que esté tratando que se cumpla.

Ilustración 2 Atención y meditación por el algoritmo eSense del MindWave NeuroSky.



5.17 PRUEBAS PARA EVALUAR O DIAGNOSTICAR EL ESTADO DE LA MEMORIA DEL TRABAJO

La memoria de trabajo incorpora los aspectos dinámicos de mantener y manipular la información uniendo aspectos auditivos verbales, no verbales y el concepto del ejecutivo central. Algunas tareas que evalúan la memoria de trabajo son: Retención inversa de dígitos, memoria espacial de cubos en regresión, ejecución en tareas duales como la capacidad simultánea de seguir estímulos visuales y sustracción serial.

Dentro de las pruebas utilizadas para medir la MT se encuentran las de Dígitos de la WMS (Wechsler Memory Scale), en el CPT (Continuous Performance Test), en el TOMM (Test of Memory Malinger), en la Visual Organisation Task (VOT) y en el Test of Variables of Attention (TOVA).

Este tipo de test que evalúan la memoria de trabajo consisten en saber a cuantos bits de información es capaz de atender una persona al mismo tiempo y manipularlos mentalmente de forma eficaz. Por lo que se requiere que el sujeto siga la huella de dos o más estímulos, o ideas asociadas simultáneamente, alternativamente o secuencialmente, implicando a la atención dividida y/o al cambio atencional (Baddeley, 1992; Ericsson y Kintsch, 1995).

La prueba WAIS IV está compuesta de 15 pruebas organizadas en cuatro escalas dentro de la cual se encuentra la memoria de trabajo, esta prueba aporta datos fiables y válidos en el campo clínico y de la investigación (Goldstein, 2008).

6 OBJETIVOS

6.1 OBJETIVO GENERAL

Desarrollar un sistema para el entrenamiento de memoria de trabajo en adultos mayores usando como herramientas la interacción de *software*, procesos de neurorehabilitación e interfaz humano-computador portable.

6.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Cuantificar el estado de la memoria de trabajo de los sujetos a través de la escala de inteligencia de Wechsler para adultos-WAIS-IV.
- Desarrollar una herramienta de *software* que permita la interacción y realimentación del sujeto con el sistema de neurorehabilitación portable.
- Desarrollar el protocolo de estimulación y entrenamiento de la memoria del trabajo, en los adultos mayores.
- Evaluar la usabilidad del sistema.

7 METODOLOGÍA

7.1 TIPO DE ESTUDIO.

Este estudio se considera de tipo exploratorio de esta forma, el primer paso del proceso investigativo se centró en establecer el panorama actual existente sobre el entrenamiento de la memoria de trabajo en adultos mayores a través de videojuegos serios, para ello se realizó una revisión de los trabajos publicados aproximadamente entre 2010 y 2016 enmarcada en el estado del arte.

7.2 ETAPAS DE LA INVESTIGACIÓN

Se tuvo en cuenta como criterios de inclusión a las personas mayores de 60 años, con escolaridad mínima de quinto de primaria, y prueba de tamización sencilla Mini mental 23 o 24 (escala psicométrica breve para evaluar el estado cognitivo de las personas, este puntaje para la edad significa un estado cognitivo normal) para el cual firmaron consentimiento informado aprobado por el comité de Bioética mediante acta # 080 del 2018.

7.3 DESARROLLÓ DE LA HERRAMIENTA DE ENTRENAMIENTO

Interacción y realimentación del sujeto con el sistema de neurorehabilitación portable a través de las siguientes actividades:

- a) **Selección y diseño del entrenamiento de la memoria del trabajo:** Se basó en las teorías y contribuciones de Baddeley 2012, Alfredo Ardila 2007 y George Miller 2006, para los métodos de entrenamiento y el enfoque donde la memoria a corto plazo tiene la capacidad de almacenar aproximadamente 7 ± 2 ítems o el equivalente a 2,3 bits.
- b) **Desarrollo de la herramienta de software con la aplicación de la Metodología XP** (eXtreme Programming) enfocada en ciclos cortos de desarrollo que establece una cercanía estrecha con el cliente, muy flexible ante los cambios de requerimientos sin

importar el avance que se tenga del proceso de desarrollo, sigue una filosofía que aprovecha los cambios para dar una ventaja competitiva al cliente (Aguliar A; 2011).

Metodología liviana de desarrollo de software, la cual permite en vez de planificar, analizar y diseñar para el futuro distante, hacer todo esto un poco cada vez, a través de todo el proceso de desarrollo.

Permite la representación de actividades de forma concurrente y su sincronización, soporta patrones orientados a objetos (Cataldi, Z. 2000), basada en prueba-error y propone el principio de hacer las cosas más simples que puedan funcionar en relación al proceso y la codificación.

Pasos de aplicación:

- Conformación de Equipo para desarrollo: Formaron parte del equipo los expertos y el responsable del proyecto.
- Planificación de la aplicación: Se realizaron las historias de usuario y se planificó el orden de las mini-versiones. La planificación se revisó continuamente.
- Test del cliente: El cliente, con la ayuda del desarrollador, propone sus propias pruebas para validar las mini-versiones.
- Versiones pequeñas: Las mini-versiones deben ser lo suficientemente pequeñas como para poder hacer cada una en poco tiempo.
- Diseño simple: Mantener siempre sencillo el código con programación orientada a objetos.
- Integración continua: Deben tenerse siempre un ejecutable del proyecto que funcione y en cuanto se tenga una nueva pequeña funcionalidad, debe recompilarse y probarse.
- Normas de codificación: Estilo común de codificación fácil de entender.
- Ritmo sostenible: Se trabajó a un ritmo que se mantuvo durante la ejecución del proyecto.

7.4 RECOLECCIÓN Y ANÁLISIS DE REQUERIMIENTOS

Ilustración 3 Recolección de información



7.5 REQUERIMIENTOS FUNCIONALES:

- Captura de ondas cerebrales de la zona prefrontal del cerebro.
- Almacenamiento de 7 ± 2 elementos durante la realización de las sesiones.
- Almacenar, manipular y transformar información a través de la realización de tareas cognitivas como habilidades matemáticas, lectura, secuencias directas e inversas, retención de imágenes.
- Captura de información durante los primeros 3 minutos de cada sesión entrenamiento de la siguiente forma:
- Especificación de la actividad realizada (operación matemática, secuencias, lectura...)
- Lectura de ondas cerebrales de la zona prefrontal durante la actividad

- Tiempo de estímulo - respuesta.
- Errores cometidos.

Para dar cumplimiento a los requerimientos se creó un videojuego con varios mini juegos que son la sistematización de actividades manuales utilizadas por Neuropsicólogos para el entrenamiento de la memoria operativa, (herramientas manuales validadas por estudios científicos).

7.6 TECNOLOGÍAS

Se desarrolló el video juego en Unity 3D, herramienta para el diseño de videojuegos, el lenguaje utilizado ha sido C#, y la versión fue la 2018.2.0f2; el software final es funcional para Windows 32 y 64 bits.

c) Comunicar la herramienta del *Neurofeedback* portable con la arquitectura de programación del software.

Para este procedimiento se hizo uso de la biblioteca nativa ThinkGear a través de la Guía paso a paso para integrar la funcionalidad de detección de ondas cerebrales con el juego desarrollado en Unity, las cuales serán utilizadas para medir y realizar la retroalimentación y estimulación de la memoria de trabajo por medio de la atención que se captura con el algoritmo eSense del dispositivo portable MindWave, lo anterior teniendo en cuenta a Baddely, (2012), que demuestra la relación directa entre la atención y la MT.

Para la realizar la validación de usabilidad de la herramienta se llevaron a cabo las siguientes actividades:

- Aplicación letras y números y dígitos de la Escala de inteligencia de Wechsler para adultos-WAIS-IV (La Escala de inteligencia de Wechsler para adultos-IV (WAIS-IV) es un instrumento clínico de aplicación individual para evaluar la inteligencia de adultos de 16 a 89 años. Ofrece puntuaciones compuestas que reflejan el funcionamiento intelectual en cuatro áreas cognitivas (comprensión verbal, razonamiento perceptivo,

memoria de trabajo y velocidad de procesamiento) y una puntuación compuesta que representa la aptitud intelectual general).

- Se realizaron un total de diez (10) sesiones del videojuego con *Neurofeedback*, dos actividades por día dos veces a la semana con una duración de 30 a 60 minutos teniendo en cuenta lo descrito por (Vernon et al, 2004) donde indica el tiempo y secuencia de la aplicación del *Neurofeedback*. En cada nivel las tareas aumentaban y disminuían de complejidad, es decir, el grado de exigencia variaba de mayor a menor requerimiento de atención con la finalidad de estimular y motivar a cada sujeto a través del avance en los niveles del videojuego.
- Pruebas finales: (aplicación letras y números y dígitos de la Escala de inteligencia de Wechsler para adultos-WAIS-IV) para su comparación.
- Verificación de usabilidad con la puntuación de la escala SUS (System Usability Scale), análisis de los resultados obtenidos en el estudio con relación a las pruebas estandarizadas aplicadas.

La presente investigación tomo una muestra no probabilística por conveniencia, de selección informal, representada por sujetos voluntarios, conformada por un grupo total de seis (06) adultos mayores del grupo poblacional que cumplió con los criterios de inclusión y exclusión:

Criterios de exclusión: Diagnóstico neurológico o neuropsicológico, consumo de medicamento que afecten su normal funcionamiento cognitivo, alteraciones de movilidad y/o sensibilidad en las manos o problemas graves de audición o visión.

7.7 VARIABLES

Memoria del trabajo: Corresponde a la aplicación de la escala de inteligencia de Wechsler para adultos WAIS-IV que determinan el estado inicial y final de la memoria del trabajo de los sujetos (anexo 3).

Neurofeedback: Atención, corresponde al algoritmo *eSense* que mide en una escala de 1 a 100.

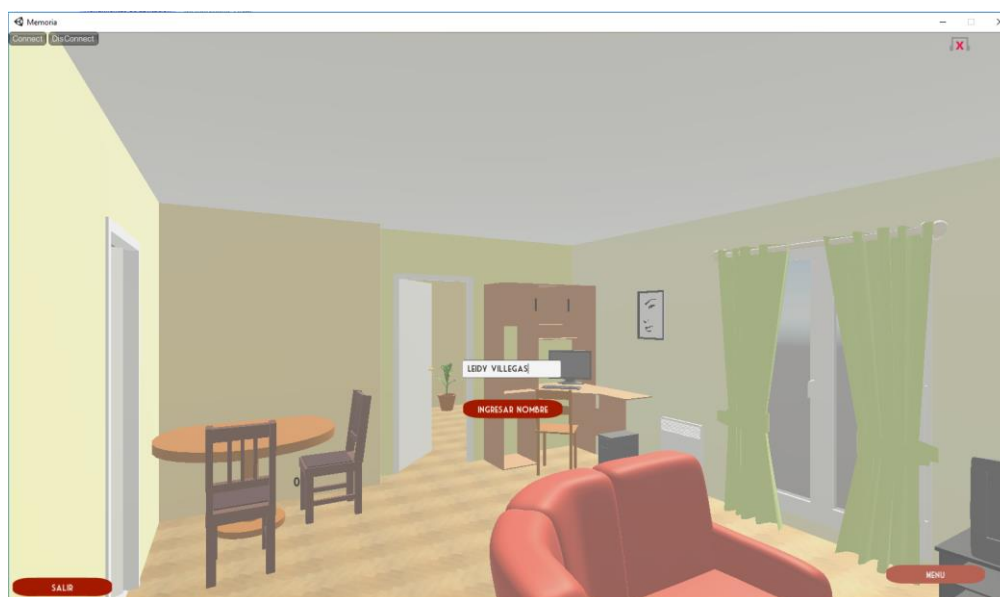
Tabla 2 Interpretación resultados algoritmo *eSense* atención.

Escala	Interpretación
1-20	"considerablemente bajos" pueden indicar estados de distracción, agitación, o anormalidad.
20-40	niveles "bajos"
40-60	Neutral y es considerado dentro de la línea base que se tienen en las técnicas convencionales de la medición de ondas
60-80	ligeramente elevado y puede interpretarse como los niveles que tienden a ser mayor de lo normal para una determinada persona.
80-100	Muy elevado..

8 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Herramienta de software con interacción y realimentación del sujeto con el sistema de neurorehabilitación portable “BCI”, en cual se efectuó la captura de las ondas cerebrales y la retroalimentación de la atención, se sistematizaron las actividades manuales utilizadas para el entrenamiento de la memoria de trabajo, basada en la revisión de bases de datos indizadas de *PsycInfo* y *PubMedy*, en lo descrito por Alfredo Ardila, 2012 y Adam Gazzaley, 2011, teniendo como resultado un videojuego serio donde cada nivel fue diseñado y probado durante su desarrollo con personas adultas mayores.

Ilustración 4 Ingreso al videojuego.

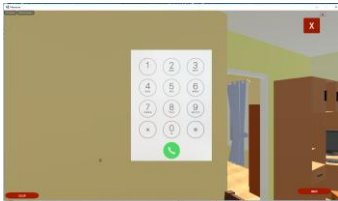


La ilustración 4 es la vista de ingreso al videojuego en esta ventana se efectúa y verifica la conexión del dispositivo MindWave con el entorno y se registra el nombre de usuario, dato con el cual se almacena en un formato XLS la información capturada durante el proceso de entrenamiento.

El Desarrollo del protocolo de estimulación y entrenamiento de la memoria de trabajo en los adultos mayores se llevó a cabo con las siguientes actividades:

Actividad 1: En este nivel se realiza entrenamiento a través de secuencias de orden directo, en el cual un teclado de un teléfono enciende y apaga sus teclas de forma secuencial, el usuario debe recordar y repetir la serie, la cantidad de dígitos a recordar funciona de forma creciente y decreciente de la siguiente manera, inicia poniéndose en color verde dos números del teclado, luego tres, cuatro y sucesivamente hasta llegar a siete, en cada etapa el sujeto debe recordar y repetir el orden en el cual aparecieron, al lograr el máximo de dígitos la cantidad empieza a decrecer siete, seis cinco... hasta llegar a su valor inicial.

Ilustración 5 Actividad 1



Actividad 2: Serie de letras que se muestran de forma secuencial formando una palabra, inicia con tres caracteres, el nivel de complejidad está basado en observar detenidamente cada letra, formar la palabra, recordarla y seleccionar la opción correcta, el tamaño de las palabras va incrementando de tres a siete letras y luego decrece hasta llegar a su punto inicial.

Ilustración 6 Actividad 2



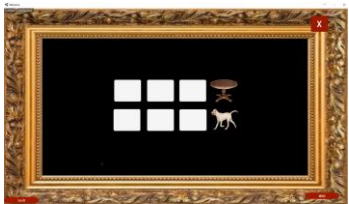
Actividad 3: Operaciones matemáticas de forma aleatoria que contienen suma, resta, multiplicación y división, la cantidad de dígitos crece y decrece de dos hasta cuatro valores, debe realizar la operación mentalmente y seleccionar de una lista la respuesta la correcta.

Ilustración 7 Actividad 3



Actividad 4: Serie de imágenes que se muestran de forma secuencial las cuales desaparecen y se vuelven a mostrar de forma conjunta en otra posición, la persona debe recordar el orden en que aparecieron dando clic una a una, sin dejarse confundir por el cambio de lugar, la cantidad de imágenes crece y decrece de 2 a 5.

Ilustración 8 Actividad 4



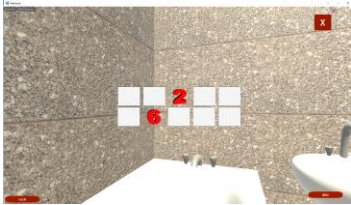
Actividad 5: Conjunto de cuadrados que van encendiendo de color rojo en orden secuencial, el cual debe ser recordado y repetir dando clic en el orden que fueron observados inicialmente, funciona de forma creciente de dos hasta siete cuadrados y decrece de siete al valor inicial.

Ilustración 9 Actividad 5



Actividad 6: Nivel que tiene su enfoque en realizar actividad de recuerdo de dígitos de orden inverso, a través de una secuencia de números que debe recordar y repetir dando clic de forma inversa a la que aparecieron, la cantidad de números a recordar funciona de forma creciente iniciando en dos hasta cinco dígitos y decrece de cinco hasta su punto inicial.

Ilustración 10 Actividad 6



Actividad 7: Actividad comúnmente conocida como concétrese que corresponde a recordar y seleccionar las parejas de elementos que aparecen en pantalla, la matriz va aumentando de dimensión de seis a quince pares a medida que se va resolviendo y luego decrece al punto inicial como medio de motivación.

Ilustración 11 Actividad 6



Actividad 8: Consiste en organizar un grupo de números en orden directo; es decir, ordenar el conjunto de números que aparece en pantalla de menor a mayor dando clic para que desaparezcan. La cantidad de números que aparecen crece desde tres hasta nueve y decrece de nueve a su punto inicial.

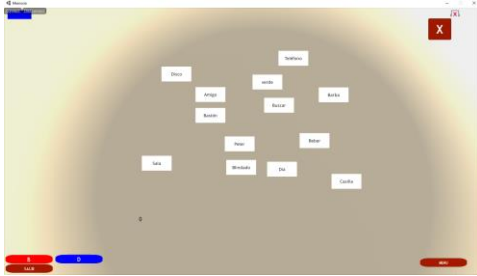
Ilustración 12 Actividad 8



Actividad 9: Conjunto de palabras que inician con diferentes letras, en la cual se debe seleccionar la letra B y dar clic en las palabras que comienzan con ella y luego realizar la misma actividad con la letra D, con las demás palabras que aparecen en pantalla no se debe

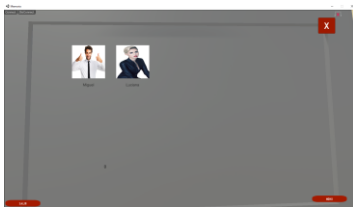
realizar ninguna acción, son utilizadas como medio de distracción para dar un nivel de complejidad en la actividad.

Ilustración 13 Actividad 9



Actividad 10: Serie de rostros de personas con sus respectivos nombres que aparece y desaparece, las cuales debe recordar para relacionar a cada rostro su nombre correspondiente, la actividad inicia con dos personas crece hasta seis y decrece nuevamente hasta llegar a su punto de partida.

Ilustración 14 Actividad 10



En cada entrenamiento se realizaron un total de dos actividades con sus diferentes niveles las cuales fueron seleccionadas según su grado de dificultad, una de mayor exigencia que permitía entrenar y alcanzar un mayor rango de atención y otra de mayor facilidad que aportaba al entrenamiento y motivaba a la persona por su logro alcanzado, la unión de estas dos actividades y su uso se definió con la profesional en Neuropsicología y basados en entrenamientos descritos por Ardila, A; (2012) y teniendo como principios entrenar, no causar fatiga y generar motivación para dar continuidad al proceso.

Durante el seguimiento y aplicación de los entrenamientos por medio de los niveles del videojuego, se encontró que las actividades de mayor dificultad y en las cuales la atención

aumentaba en mayor nivel en los sujetos fue la 4, 6 y 10 que implican la aplicación de un mayor nivel de concentración, retención de dígitos, aplicación de dígitos inversos y correlación de información con diferentes niveles de complejidad.

Antes de iniciar las sesiones con los adultos mayores se les aplicaron las pruebas de Dígitos (orden directo, orden inverso y orden creciente) y letras y números de la escala de inteligencia de Weschsler para adultos IV para cuantificar el estado de la memoria de trabajo con los siguientes resultados.

Tabla 3 Puntuaciones escalares Dígitos Directos DD, Dígitos Inversos DI y Dígitos Crecientes DC prueba 1.

Prueba # 1	Puntuación escalar DD	Puntuación escalar DI	Puntuación escalar DC
Sujeto 1	11	12	10
Sujeto2	12	9	10
Sujeto 3	4	6	5
Sujeto 4	11	6	5
Sujeto 5	7	8	11
Sujeto 6	4	7	8

La prueba de Dígitos D, Está formada por tres tareas: Dígitos directos DD (consiste en repetir una serie de dígitos, que se presentan oralmente, en el mismo orden que se presentan) Dígitos inversos DI (repetir una serie de dígitos en orden inverso al presentado) y Dígitos en orden creciente DC (repetir de menor a mayor los números leídos por el examinador). Evalúa la atención y la resistencia a la distracción, la memoria auditiva inmediata y la memoria de trabajo según la WAIS IV.

Tabla 4 Media según tabla 6 con respecto al último número de dígitos recordados en la secuencia.

Prueba # 1	SpanDD	Tasa Base	SpanDI	Tasa Base	SpanDC	Tasa Base
------------	--------	-----------	--------	-----------	--------	-----------

Sujeto 1	6	media	5	media	5	media
Sujeto 2	6	media	5	media	5	media
Sujeto 3	4	<media	2	<media	2	<media
Sujeto 4	6	media	2	<media	3	<media
Sujeto 5	5	media	3	media	6	media
Sujeto 6	4	<media	3	media	4	media

Tabla 5 Baremos para SpanDD, SpanDI y SpanDC de la tabla C.4

Media SpanDD	5,9	Dt	1,3		Entre 55-69 años
Media SpanDI	4,1	Dt	1,1		
Media SpanDC	5,2	Dt	1,3		

En la realización de cada tarea de la prueba dígitos D se evalúa el último número de dígitos recordados en la secuencia, con el fin de obtener la puntuación de procesamiento que ayuda a matizar las puntuaciones del índice de memoria de trabajo IMT, en la tabla 4. se relaciona la tasa base que indica si el resultado se encuentra menor, dentro o mayor que la media poblacional según tabla baremos.

Tabla 6 Resultado directo y escalar Subprueba 1 de Dígitos D, Letras y Números LN.

PRUEBA 1			
# Sujeto	Subprueba	Puntuación directa	Puntuación Escalar
Sujeto 1	Dígitos	25	11
	Letras Números	18	11
Sujeto 2	Dígitos	24	11
	Letras Números	9	4
Sujeto 3	Dígitos	13	4
	Letras Números	11	5
Sujeto 4	Dígitos	17	7
	Letras Números	13	6

Sujeto 5	Dígitos	21	9
	Letras Números	15	8
Sujeto 6	Dígitos	16	6
	Letras Números	14	7

Tabla 7 Índice Memoria de Trabajo IMT con rango percentil en intervalo de confianza de cada Sujeto.

ESCALA	Suma puntuaciones escalares	IMT	Rango Percentil	Intervalo de confianza 95%
Sujeto 1	33	135	99	125-140
Sujeto 2	31	130	98	120-135
Sujeto 3	15	85	16	79-94
Sujeto 4	22	106	66	98-113
Sujeto 5	26	117	87	108-123
Sujeto 6	19	97	42	90-105

El índice de Memoria de Trabajo (IMT) mide la capacidad para retener temporalmente en la memoria una cantidad determinada de información, mientras se trabaja u opera con ella. Evalúa la capacidad para focalizar la atención, mantenerla, y el control mental. Se ha medido mediante tareas que requieren repetir números en orden directo, inverso y creciente (Dígitos) o escuchar una serie de números y letras, y repetir los números del más pequeño al mayor y las letras orden alfabético (Letras y números)) según la WAIS IV.

En los resultados de las tablas 3,4,6 y 7 indican el estado inicial de la memoria de trabajo de los seis adultos mayores a quienes se les aplicaron las sesiones de entrenamiento de *Neurofeedback*.

Luego de realizar la aplicación de la prueba inicial WAIS IV, se realizaron con cada persona un total de diez (10) niveles del videojuego, 02 al día dos veces por semana, tomando de cada uno el nivel de atención durante los primeros cinco (05) minutos, el Neurofeedback se enfocó en llevar el nivel de atención por encima de un valor de 60 para pasar de un nivel a otro y para finalizar la prueba.

Ilustración 15 Entrenamientos y uso de los 10 niveles



Durante la aplicación de los niveles en los adultos mayores los comentarios más comunes se refieren a que los usuarios ven al sistema como una buena herramienta, les fue fácil su uso, pero manifestaron que siempre requerían de un acompañamiento para su ejecución, indicaron de igual forma que en algunos momentos se les dificultó alcanzar el valor de atención mínimo para avanzar de nivel o finalizar la tarea del día.

Finalizadas las sesiones con los adultos mayores se les aplicaron nuevamente las pruebas de Dígitos (orden directo, orden inverso y orden creciente) y letras y números de la escala de inteligencia de Weschsler para adultos IV para cuantificar el estado de la memoria de trabajo posterior al uso de la herramienta con los siguientes resultados.

Tabla 8 Puntuaciones escalares Dígitos Directos DD, Dígitos Inversos DI y Dígitos Crecientes DC prueba 2.

Prueba # 2	Puntuación escalar DD	Puntuación escalar DI	Puntuación escalar DC
Sujeto 1	12	12	13
Sujeto2	9	11	17
Sujeto 3	6	8	10
Sujeto 4	11	7	11
Sujeto 5	9	12	11
Sujeto 6	7	8	5

Tabla 9 Media según tabla 11, con respecto al último número de dígitos recordados en la secuencia.

Prueba # 2	SpanDD	Tasa Base	SpanDI	Tasa Base	SpanDC	Tasa Base
Sujeto 1	6	media	5	media	6	media
Sujeto2	6	media	5	media	8	>media
Sujeto 3	4	<media	3	media	5	media
Sujeto 4	6	media	3	media	6	media
Sujeto 5	6	media	6	>media	6	media
Sujeto 6	5	media	4	media	4	media

Tabla 10 Baremos tabla C.4

Media SpanDD	5,9	Dt	1,3	Entre 55-69 años
Media SpanDI	4,1	Dt	1,1	
Media SpanDC	5,2	Dt	1,3	

Tabla 11 Resultado directo y escalar Subprueba 2 de Dígitos D y Letras y Números LN.

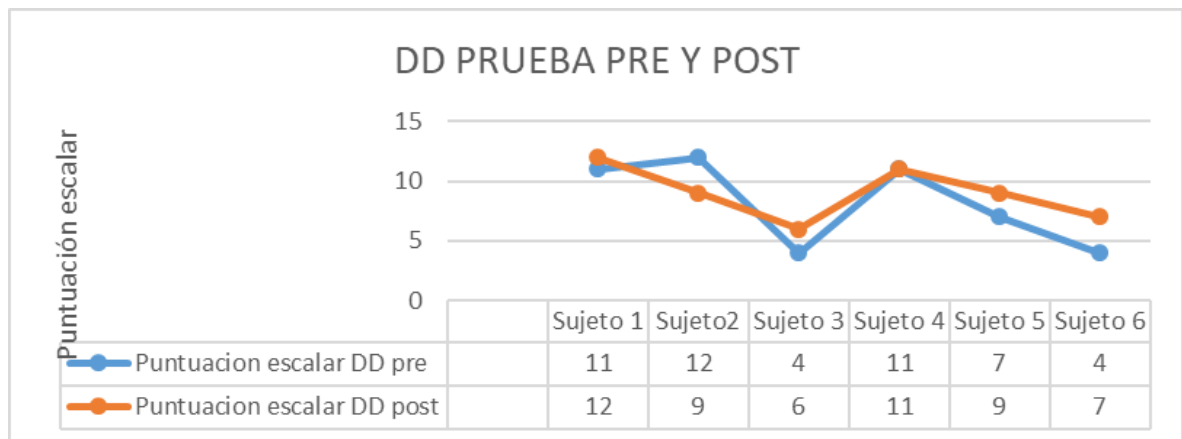
PRUEBA 2			
# Sujeto	Subprueba	Puntuación directa	Puntuación Escalar
Sujeto 1	Dígitos	28	13
	Letras Números	21	14
Sujeto2	Dígitos	28	13
	Letras Números	16	9
Sujeto 3	Dígitos	19	8
	Letras Números	13	6
Sujeto 4	Dígitos	22	10
	Letras Números	16	9
Sujeto 5	Dígitos	25	11
	Letras Números	18	11
Sujeto 6	Dígitos	17	7
	Letras Números	17	10

Tabla 12 Índice Memoria de trabajo IMT con rango percentil en intervalo de confianza de cada Sujeto.

ESCALA	Suma puntuaciones escalares	IMT	Rango Percentil	Intervalo de confianza
Sujeto 1	37	147	99,9	136-151
Sujeto2	37	147	99,9	136-151
Sujeto 3	24	111	77	102-118
Sujeto 4	29	125	95	115-131
Sujeto 5	32	132	98	122-137
Sujeto 6	20	100	50	92-108

Se realizó análisis comparativo de resultados de las pruebas iniciales y finales encontrando lo siguiente:

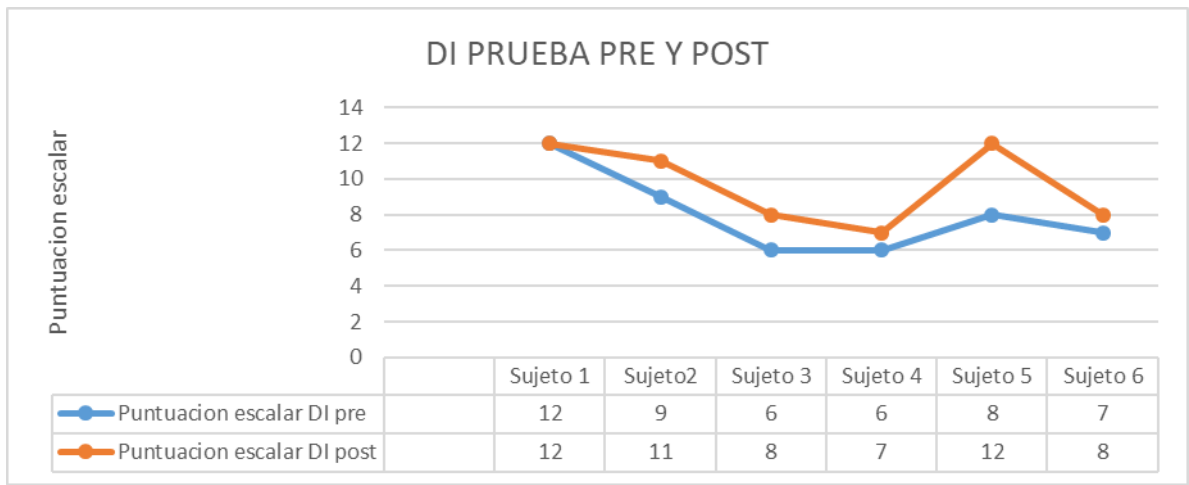
Ilustración 16 Comparativo Dígitos Directos DD prueba 1 y 2.¹



En los resultados de la tarea de Dígitos directos DD se encontró un aumento del valor obtenido en los sujetos 1,3,5 y 6, el sujeto 4 se mantuvo en la misma calificación y el sujeto 2 presentó un valor menor a la inicial.

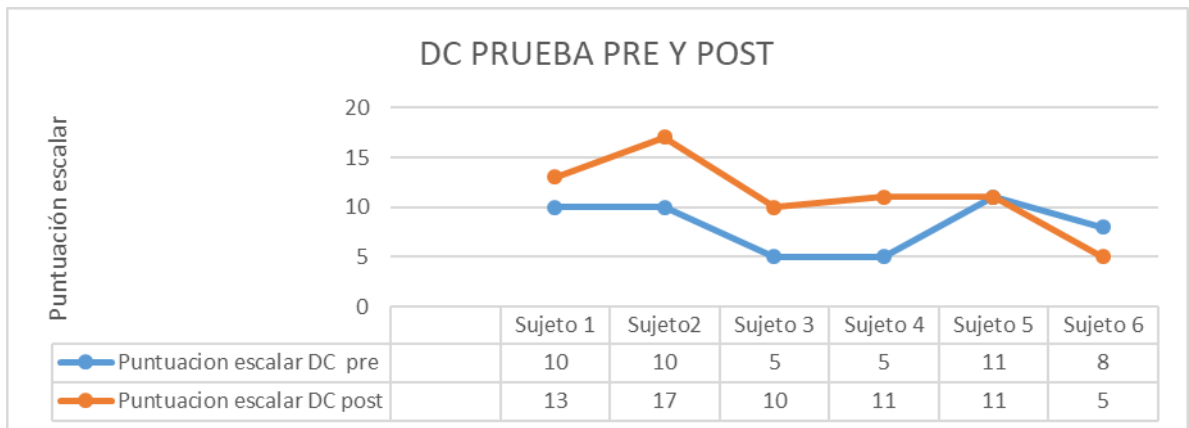
¹ Donde 1 indica prueba pre y 2 prueba post.

Ilustración 17 Comparativo Dígitos Inversos DI prueba 1 y 2.



En los resultados de la tarea de Dígitos Inversos DI se encontró un aumento del valor obtenido en 5 de los sujetos y en uno se mantuvo, esta tarea tiene rol importante ya que implica de transformación de información, manipulación de representaciones mentales y la imaginación viso espacial Groth, M; (2003) y Sattler, J; (2008b).

Ilustración 18 Comparativo Dígitos Crecientes prueba 1 y 2.



En los resultados de las tres tareas de Dígitos directos DD, Dígitos inversos DI y Dígitos en orden creciente DC se encontró entre la prueba pre y post tendencia al aumento.

Tabla 13 Comparación media SpanDD, SpanDI y Span DC de las pruebas, se resaltan los campos en los cuales se presentó cambios entre la prueba pre y post².

# Sujeto	Tasa Base SpanDD prueba pre	Tasa Base SpanDD prueba post	Tasa Base SpanDI prueba pre	Tasa Base SpanDI prueba post	Tasa Base SpanDC prueba pre	Tasa Base SpanDC prueba post
Sujeto 1	media	media	media	media	media	media
Sujeto2	media	media	media	media	media	>media
Sujeto 3	<media	<media	<media	media	<media	media
Sujeto 4	media	media	<media	media	<media	media
Sujeto 5	media	media	media	>media	media	media
Sujeto 6	<media	media	media	media	media	media

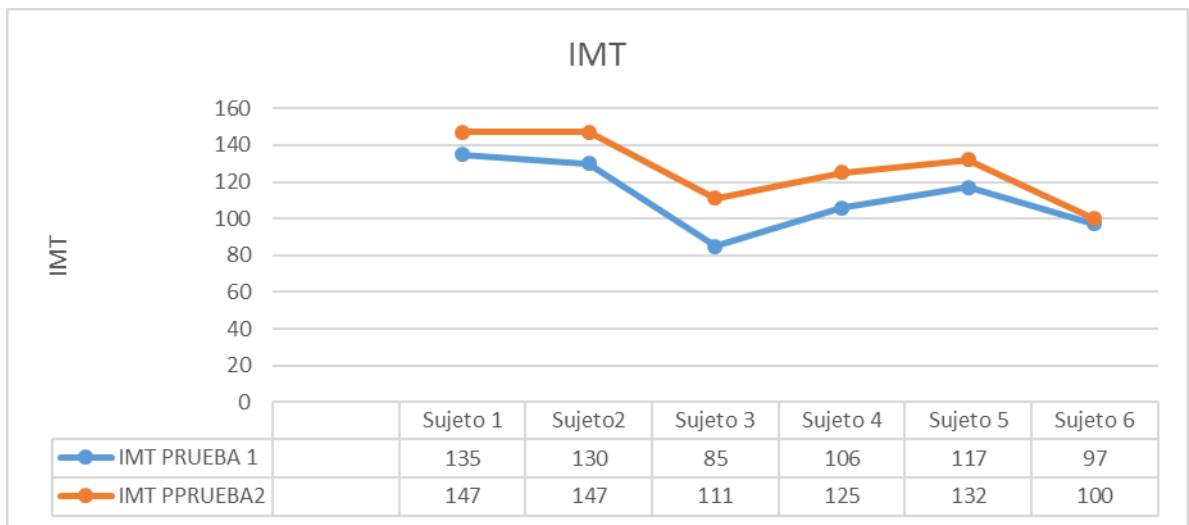
En la tabla 13 se observa que el último número de dígitos recordados en la secuencia por cada sujeto entre la prueba pre y post varió, en los colores naranja se puede visualizar que pasaron de estar por debajo de la media a estar dentro de la media poblacional o en un rango mayor que la media.

Tabla 14 Comparativo Índice memoria de trabajo IMT prueba pre y post.

# SUJETO	IMT PRUEBA PRE	IMT PPRUEBA POST
Sujeto 1	135	147
Sujeto2	130	147
Sujeto 3	85	111
Sujeto 4	106	125
Sujeto 5	117	132
Sujeto 6	97	100

² <media: por debajo de la media, media: dentro de la media y >media: mayor que la media.

Ilustración 19 Índice memoria de trabajo IMT prueba 1 y 2.



Respecto al estudio cognitivo se encontraron diferencias entre la prueba pre y post de dígitos, letras y números, esto indica que la distribución de las puntuaciones antes de realizar las sesiones varió con respecto a la realizada después del uso de los diez entrenamientos, visualizándose que el índice de la memoria de trabajo IMT aumentó, este hecho es relevante y proporciona una base para la realización de posteriores estudios del efecto de la terapia no farmacológica TNF con el uso de *Neurofeedback* para la memoria de trabajo en adultos mayores.

Cuadros consolidados del comportamiento de la atención de los sujetos durante la realización de cada una de las actividades.

Ilustración 20 Niveles de atención durante las 10 sesiones

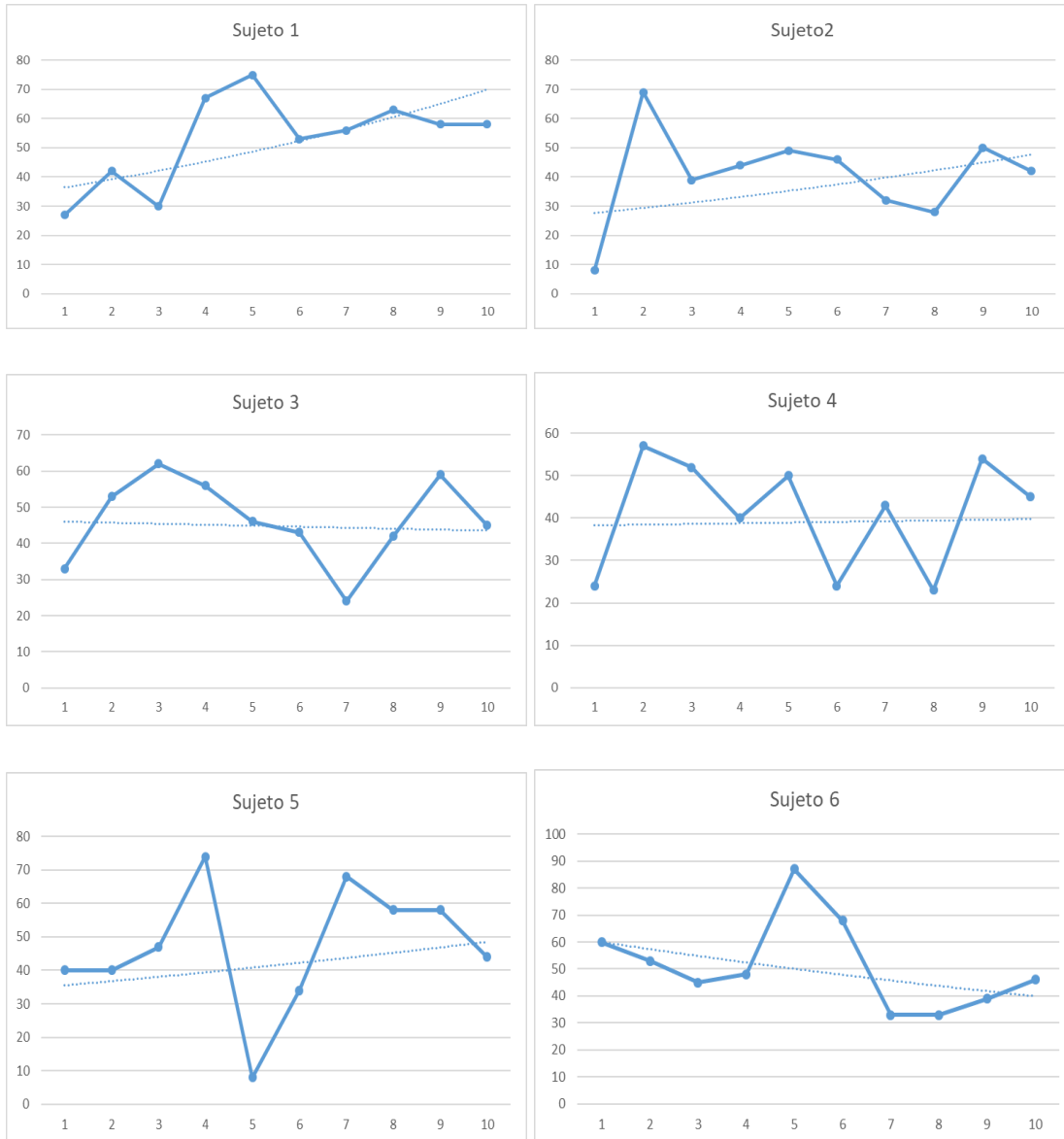
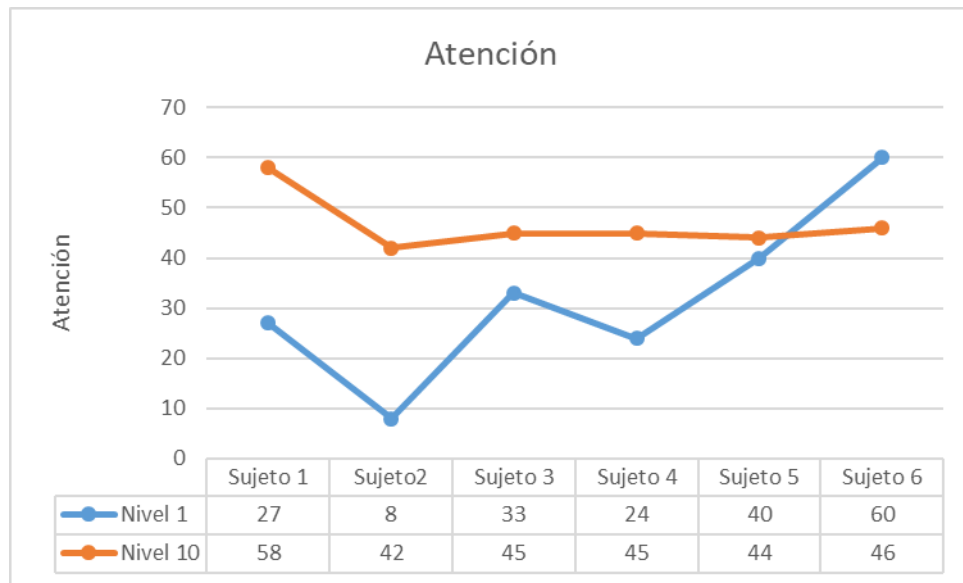


Tabla 15 promedio atención en cada nivel por Sujeto.

Nivel	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Sujeto 1	27	42	30	67	75	53	56	63	58	58
Sujeto2	8	69	39	44	49	46	32	28	50	42
Sujeto 3	33	53	62	56	46	43	24	42	59	45
Sujeto 4	24	57	52	40	50	24	43	23	54	45
Sujeto 5	40	40	47	74	8	34	68	58	58	44
Sujeto 6	60	53	45	48	87	68	33	33	39	46

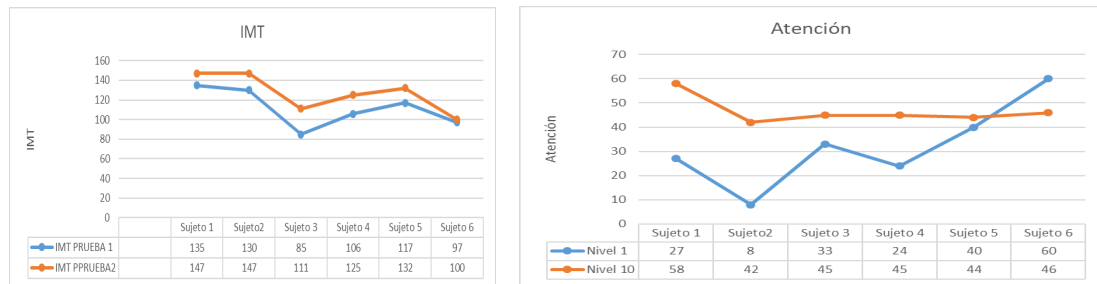
Ilustración 21 Comparación atención nivel 1 y 10.



La atención durante la aplicación de los niveles del videojuego varió, las gráficas muestran el valor total en cada de entrenamiento, estos resultados exponen una tendencia al aumento del nivel de atención en cinco adultos mayores, sin embargo en el sujeto 6 se observa que disminuyo el valor después de una tendencia de crecimiento, lo cual sustenta la teoría de la neuroplasticidad cerebral, ya que cuando la persona está en el proceso de una nueva experiencia o aprendizaje, el cerebro establece una serie de conexiones neuronales que funcionan como un camino que entre más se transita más definido se vuelve, la ruta

cerebral se refuerza a través de la práctica repetitiva de la actividad y permite una mejor comunicación entre las neuronas, dicho de esta forma se podría describir que el sujeto seis logro que las señales eléctricas viajaran de una manera más eficiente.

Ilustración 22 Resultados IMT y Atención inicial y final.



La ilustración 22 permite visualizar los cambios ocurridos en la memoria de trabajo y la atención de los seis sujetos de estudio, donde se evidencia de forma paralela el aumento del índice de la memoria de trabajo evaluado mediante una prueba internacional estandarizada y la atención tomada de las ondas de la zona prefrontal del cerebro.

Finalizada la aplicación de los diez (10) niveles en los seis (06) voluntarios se efectuó cuestionario SUS que permite evaluar de forma sencilla la usabilidad del sistema.

8.1 RESULTADOS DE LAS PRUEBAS:

De acuerdo a lo descrito por Jakob Nielsen 2005 el número mínimo de usuarios requeridos para llevar a cabo pruebas de software es de cinco personas, para esta herramienta particular los usuarios fueron adultos mayores ya que está dirigido a ellos.

El cuestionario permitió evaluar la interfaz de usuario y el sistema.

Tabla 16 Resultados cuestionario SUS

# SUJETO	# 1	#2	# 3	# 4	# 5	# 6	# 7	# 8	# 9	# 10	suma	sus
SUJETO 1	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	40	100
SUJETO 2	4	2	3	1	4	3	2	4	4	3	30	75
SUJETO 3	4	1	3	2	4	4	4	3	2	3	30	75

SUJETO 4	4	3	4	3	4	3	4	4	4	4	37	92,5
SUJETO 5	4	4	4	0	4	4	4	3	4	3	34	85
SUJETO 6	4	3	3	1	4	3	4	3	3	4	32	80
Promedio											84,6	

El valor final de la escala está en un rango de 0 a 100, el puntaje promedio del instrumento es de 68. Todo puntaje por encima de este valor será considerado “por encima del promedio” lo que significa que el resultado obtenido que fue 84,6 muestra un buen nivel de usabilidad.

9 CONCLUSIONES

Se desarrolló un videojuego serio basado en la sistematización de las terapias manuales estandarizadas utilizadas por la psicología y la neuropsicología para el entrenamiento y rehabilitación de la memoria de trabajo, conectado a un equipo portable y de bajo costo denominado Mindwave, el cual permitió la realización de *neurofeedback* de la MT en los adultos mayores. En la búsqueda bibliográfica del presente proyecto no se encontraron herramientas de entrenamiento que permitan el uso de la retroalimentación durante el proceso de entrenamiento, aunque se contó con autores como Gazzaley, A; et al; (2016), y Anguera J; et al; (2013) quienes han desarrollado videojuegos para entrenamiento y rehabilitación en diferentes áreas cerebrales con resultados muy promisorios en el campo de la salud, en la cual tiene desarrollos en cuanto a la memoria de trabajo de adultos mayores. Sin embargo este proyecto tiene una consideración adicional que es la inclusión del *neurofeedback* en el proceso del entrenamiento lo que brinda al especialista y al mismo sujeto una evaluación integral en este tipo de intervenciones.

Teniendo en cuenta como se diseñó el videojuego, el dispositivo electrónico que se utilizó y la manera como se desarrolló el entrenamiento de la memoria del trabajo en el adulto mayor, se pudo determinar que el trabajo realizado se fundamentó en la técnica denominada retroalimentación neuronal (RN) la cual le permitió al usuario conocer y explotar su habilidad para la autorregulación de señales fisiológicas con la finalidad de desarrollar capacidades para alcanzar un objetivo en términos de actividad cerebral (aumentar el nivel de atención), Perronnet, L; (2016), la cual fue medida y programada en valores de 1 a 100 a través del algoritmo eSense de Neurosky.

Se realizó la cuantificación del estado de la memoria de trabajo de forma pre y post en los sujetos a través de la escala de inteligencia de Wechsler para adultos-WAIS-IV, evidenciando en los resultados obtenidos una mejora en el estado de la memoria de trabajo después del uso de los videojuegos con *Neurofeedback*, estos hallazgos resaltan la robusta plasticidad del sistema cognitivo prefrontal en el envejecimiento, y proporciona una

demostración sobre cómo un videojuego diseñado a la medida y necesidad puede usarse para entrenar y mejorar las habilidades cognitivas en el envejecimiento.

Los resultados del presente trabajo permiten comprender que la memoria de trabajo y la atención tienen una relación de interacción que se enmarca en varias investigaciones previas (McVay & Kane, 2012; Unsworth & McMillan, 2013). Lo anterior se evidenció a través de los resultados arrojados respecto al funcionamiento de las ondas cerebrales en la zona prefrontal que analizaron de manera específica la atención y los resultados obtenidos mediante las pruebas escritas estandarizadas que presentaron tendencia al aumento de forma paralela. Este fenómeno de interacción observado en el desarrollo del proyecto debería ser ampliado para llegar a un resultado más fiable que el obtenido en presente trabajo.

Después de analizar las posibles limitaciones de este proyecto, se sugiere replicar el experimento con una muestra más amplia de participantes, y determinar si los resultados obtenidos son producto del entrenamiento o de otro tipo de variables y verificar si perdurarán a lo largo del tiempo. Por lo tanto, se sugieren estudios similares que evalúen los cambios en períodos más largos para que se pueda determinar la existencia de sinapsis neuronal (4 o 6 meses), así como evaluar los resultados posteriores al entrenamiento en términos de intervención ecológica (verificación de los comportamientos en la familia, entorno, trabajo entre otros).

De igual forma las limitaciones de este estudio están vinculadas en principio a las características de la muestra, ya que una muestra mayor, con una mejor distribución entre participantes (respecto al género, escolaridad y hábitos de vida) podría permitir aseverar con mayor firmeza los resultados obtenidos.

Con los sujetos que participaron se evaluó la usabilidad del sistema donde el resultado de la escala proporcionó un puntaje total de 84,6 el cual está por encima de la media estandarizada en el baremo, indicando que la interfaz de usuario tiene buen nivel de usabilidad.

10 RECOMENDACIONES

- Evaluar las ondas cerebrales relacionadas con la memoria de trabajo que se pueden capturar a través del dispositivo portátil *mindwave*, que permitan evaluar de una forma integral el estado de la memoria de trabajo.
- Utilizar el videojuego con equipos especializados que permitan la captura de ondas desde otras posiciones cerebrales con el fin de obtener mayor información sobre el funcionamiento y posible cambio en los ritmos cerebrales.
- Analizar el tiempo de respuesta a la instrucción dada en cada nivel del videojuego, datos que ya genera el software pero que no fueron analizados en la presente fase.
- Analizar las variables que ofrece la herramienta como son cantidad de errores cometidos por nivel y puntuación de la atención en el momento exacto del juego en el cual comete errores, con el fin de complementar el resultado obtenido en el estudio realizado.
- Los datos obtenidos de forma parcial permiten realizar una siguiente fase para validar la técnica a través de la aplicación de la sistematización de los protocolos de memoria de trabajo en comparación con la forma estándar y evaluar su resultado. Con esto se podría proponer una nueva forma de aplicación de los protocolos con herramientas de software y hardware conjuntas.
- Realizar un diseño de experimento para validar la herramienta en una siguiente fase ampliando la población, el tiempo de ejecución del entrenamiento y el análisis de las ondas en correlación con los resultados de las pruebas estandarizadas de medición del estado de la memoria de trabajo.
- Realizar un análisis profundo de los cambios producidos en el EEG y los resultados de los test estandarizados con el fin de identificar si existe correlación.

11 ABREVIATURAS

Abreviatura	Significado
MT	Memoria de Trabajo
IMT	Índice Memoria de Trabajo
DD	Dígitos directos
DI	Dígitos Inversos
DC	Dígitos crecientes
LN	Letras y Números
SpanDD	Span Dígitos directos
SpanDI	Span Inversos
SpanDC	Span crecientes
BCI	Brain Computer Interface
MMSE	Escala minimal

12 REFERENCIAS

- Adnan Mehmood Bhatti, Muhammad Majid, Syed Muhammad Anwar, Bilal Khan, (2016) Human emotion recognition and analysis in response to audio music using brain signals, In Computers in Human Behavior, Volume 65, 2016, Pages 267-275, ISSN 0747-5632, (<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0747563216305945>)
- Adrados, H. P. (2008). Envejecimiento cognitivo y deterioro cognitivo ligero de la tercera edad. Madrid: UNED.
- Aguilar A, Programación Extrema. Recuperado el 15 de 07 de 2018, de Programación Extrema: <http://www.programacionextrema.org>
- Angelakis, E., Stathopoulou, S., Frymiare, J. L., Green, D. L., Lubar, J. F., and Kounios, J. (2007). "EEG *neurofeedback*: a brief overview and an example of peak alpha frequency training for cognitive enhancement in the elderly". The Clinical Neuropsychologist, 21, 110–129
- Anguera, J. A. Boccanfuso, J. Rintoul, J. L. Al-Hashimi, O. Faraji, F. Janowich, J. Kong, E. Larraburo, Y. Rolle, C. Johnston, E. Gazzaley, A. Video game training enhances cognitive control in older adults Nature 2013/09/04/online 501 Nature Publishing Group, a division of Macmillan Publishers Limited. All Rights Reserved.
- Arber, S. y J. Ginn (1995), Relación entre género y envejecimiento. Enfoque sociológico, Madrid, Narcea.
- Ardila, A. y Rosselli, M. (2007). Envejecimiento normal y patológico. En A. Ardila y M. Rosselli (Eds.), Neuropsicología Clínica (pp. 227- 254). Ciudad de México: Manual Moderno.
- Baddeley (Ed.), Working memory, thought and action, (pp. 117-138). Oxford, U.K.: Oxford University Press.

- Baddeley, A. (2003). Working memory and language: an overview. *Journal of Communication Disorders*, 36, 198-208.
- Baddeley, A., 1992. Working memory. *Science*, 255 (5044):556- 559.
- Baddeley, A. (2007). Developmental Fractionation of Working Memory and Response Inhibition During Childhood ISSN: 1618-3169
- Baddely, A. D. (2012). Working Memory: Theories, Models and Controversies. *Annual Review of Psychology*, 63, 1-29.
- Ballesteros, J. et al., 2005, Aprendizaje y memoria en la vejez, UNED, Madrid, España.
- Ballesteros, J. 2015 La atención selectiva modula el procesamiento de la información y la memoria implícita, [S.l.], v. 11, n. 1, p. 7-20, ISSN 2255-1271.
- Bauer, David 1976 An Exploratory Study of Developmental Changes in Children's fears *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, Wiley Online Library [http://https://doi.org/10.1111/j.1469-7610.1976.tb00375.x](https://doi.org/10.1111/j.1469-7610.1976.tb00375.x)
- Binotti, P., Spina, D., Barrera, M. y Donolo, D. (2009). Funciones ejecutivas y aprendizaje en el envejecimiento normal. *Revista chilena de neuropsicología*, 4, 119-126.
- Blasco, S. y Meléndez, J. (2006). Cambios en la memoria asociados al envejecimiento. *Gerláltrka*, 22, 179-185.
- Buzsaki, G. (2006). «Cycle 9, The Gamma Buzz». *Rhythms of the brain*. Oxford. ISBN 0195301064.
- Cabeza, R., Anderson, J. y McIntosh, R. (2002). Aging gracefully: compensatory brain activity in high-performing older adults. *Neuroimage*; 17: 1394-1402.
- Cataldi, Z. (2000). Una Metodología para el Diseño Desarrollo y Evaluación del Software Educativo. La Plata: UNLP.

- Coben, R., & Evans, J. R. (2011). *Neurofeedback* and neuromodulation techniques and applications (1st ed.). London ; Burlington, MA: Academic.
- Cox B, et al. (2003) Analysis of the generation and segregation of propagons: entities that propagate the [PSI+] prion in yeast. *Genetics* 165(1):23-33
- Carnino, Mariela. “Adultos mayores y las nuevas tecnologías” en *Revista Identidades*. Publicación de la Facultad de Periodismo y Comunicación Social-UNLP. Secretaria de Extensión Universitaria. Año 2- agosto 2007- N° 3 Pág 16/17
- Chiappe, P., Hasher, L., & Siegel, L. S. (2000). Working memory, Inhibitory control, and reading disability. *Memory and Cognition*, 28, 8-17.
- Clarck, C. (1970) *Abt, Serious games*, Viking Press, New York ISBN 10: 0670634905.
- Daselaar, S. y Cabeza, R. (2005). Age-related changes in hemispheric organization. En Cabeza, R., Nyberg, L. y Park, D. (Eds). *Cognitive neurosciences of aging: linking cognitive and cerebral aging*; Oxford university press, pp. (325-353).
- Egner, T., Zech, T. F., and Gruzelier, J. H. (2004). "The effects of *neurofeedback* training on the spectral topography of the EEG". *Clinical Neurophysiology*, 115, 2452–2460
- Ericsson, K.A. y W. Kintsch. 1995. Long-term working memory. *Psychol. Rev.*, 102(2):211-245.
- Escala de Inteligencia para Adultos de Wechsler. Ed. Manual Moderno. 1981.
- Evans, J. R. (2007). *Handbook of neurofeedback: dynamics and clinical applications*. New York: Haworth Medical Press.
- Fagundo, A. B., Santamaría, J. J., Forcano, L., Giner-Bartolomé, C., Jiménez-Murcia, S., Sánchez, I., . . . Konstantas, D. (2013). Video Game Therapy for Emotional Regulation and Impulsivity Control in a Series of Treated Cases with Bulimia Nervosa. *European Eating Disorders Review*, 21(6), 493- 499. doi: 10.1002/erv.2259.

- Franco, M. A. y Orihuela, T. (1998). Programa AIRE. Sistema multimedia de evaluación y entrenamiento cerebral. Valladolid: Edintrás.
- Franco, M. A., Orihuela, T., Bueno, Y., y Cid, T. (2000). Programa Grador. Programa de evaluación y rehabilitación cognitiva por ordenador. Valladolid: Edintrás.
- Friel, P. (2007). EEG Biofeedback in the Treatment of Attention Deficit/ Hyperactivity Disorder. *Alternative Medicine Review*; 12(2), 146-151.
- Fuster, J. (2002), Frontal Lobe and Cognitive development. *Journal of Neurocitology* (vol.31, págs. 373-285).
- Gazzaley, A Merzenich, M M; Mishra, J; Sagar, R; Joseph, A A, Training sensory signal-to-noise resolution in children with ADHD in a global mental health setting *Translational Psychiatry* 2016/04/12/online <https://doi.org/10.1038/tp.2016.45>
- G. Pfurtscheller, R. Leeb, C. Keinrath, D. Friedman, C. Neuper, C. Guger, and M. Slater, "Walking from thought," *Brain Res.*, vol. 1071, no. 1, pp. 145–52, 2006.
- Goldstein, G (2008). Intellectual Evaluacion. En M. Hersen y A.M. Gross (Eds.), *Handbook of clinical psychology* (Vol. 1-Adults, pp. 395-421). Hoboken, NJ: John Wiley & Sons.
- Gomez-Pilar, J., Corralejo, R., Nicolas-Alonso, L. F., Álvarez, D., and Hornero, R. (2014). "Diseño y desarrollo de una plataforma de entrenamiento cognitivo basada en BCI para prevenir los efectos del envejecimiento". Libro de Actas del Simposio CEA de Bioingeniería 2014, 1, 25–31
- Groth-Marnat, G. (2003). *Handbook of psychological assessment* (4ª edición.). New York: Wiley
- Gruzelier, J. & Egnér, T. (2005). Critical validation studies of *neurofeedback*. *Child Adolescent Psychiatric Clinics of North America*, 14, 83- 104.
- Heinrich, H., Gevensleben, H. & Strehl, U. (2007). Annotation: *Neurofeedback* - train your brain to train behavior. *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, 48, 3-16.

- Huster, R. J., Mokom, Z. N., Enriquez-Geppert, S., & Herrmann, C. S. (2014). Brain-computer interfaces for EEG *neurofeedback*: Peculiarities and solutions. *International journal of psychophysiology* 91(1), 36-45. doi: 10.1016/j.ijpsycho.2013.08.011.
- J. D. Bayliss and D. H. Ballard, “A virtual reality testbed for braincomputer interface research,” *IEEE Trans. Rehabil. Eng.*, vol. 8, no. 2, pp. 188–90, Jun. 2000.
- Javiera, F.; Jean, J. Sobre la contribución de las terapias ocupacionales en el manejo no farmacológico de los síntomas psicológicos y conductuales asociados a la demencia. *Revista Chilena de Terapia Ocupacional* 2012, 12 (2.).
- JinnWong Wang, Shulan Hsieh, *Neurofeedback* training improves attention and working memory performance, *Clinical Neurophysiology*, Volume 124, Issue 12, December 2013, Pages 2406-2420, ISSN 1388-2457.
- J. Z. Mínguez, “interfaces cerebro-computador no invasivos y robótica para sustitución motora”. Universidad de Zaragoza, España
- Juul, J., (2010) *A casual revolution : reinventing video games and their players* / Jesper Juul. p. cm.
- Kato, P. M. (2010). Video games in health care: Closing the gap. *Review of General Psychology*, 14(2), 113-121. doi: 10.1037/a0019441.
- Kato, P. M. (2012). Evaluating efficacy and validating games for health. *Games for Health*, 1(1), 74-76.
- Larsen, S., & Sherlin, L. (2013). *Neurofeedback*: an emerging technology for treating central nervous system dysregulation. *The Psychiatric Clinics of North America*, 36 (1), 163-168. doi: 10.1016/j.psc.2013.01.005
- Lee, R. Lee, F. Keinrath, C. Scherer, R. Bischof, H. Pfurtscheller, G. 2007. Brain–Computer Communication: Motivation, Aim, and Impact of Exploring a Virtual Apartment. *IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering*. Vol. 15, No 4.

- Legarda, S., McMahon, D., Othmer, S. & Othmer, S. (2011). *Clinical Neurofeedback: Case Studies, Proposed Mechanism, and Implications for Pediatric Neurology Practice*. *Journal of Child Neurology*, 26, 1045-1051.
- Litvintsev, A. I. (1968). Search activity of muscles in the presence of an artificial feedback loop enclosing several muscles simultaneously. *Automation and Remote Control*, 29, 464-472.
- Llinas RR, Ribary U. Coherent 40-Hz oscillation characterizes dream state in humans. *Proc Natl Acad Sci USA* 1993;90:2078-2081.
- López. H., Muñoz. C, John E., et al.2013. Sistema de Rehabilitación basado en el Uso de Análisis Biomecánico y Videojuegos mediante el Sensor Kinect. ISSN: 0123-7799.
- Lofthouse, N., Arnold, L.E., Hersch, S., Hurt, E. y DeBeus, R. (2012). Una revisión del tratamiento de neurofeedback para el TDAH pediátrico. *J AttenDisord*, 16(5):351-72.
- Lun-De Liao, Chin-Teng Lin, Kaleb McDowell, Alma E. Wickenden, Klaus Gramann, Tzyy-Ping Jung, Li-Wei Ko, JyhYeong Chang. Biosensor Technologies for Augmented Brain-Computer Interfaces in the Next Decades. IEEE Invited paper. March 2012.
- Marcano, B. (2008). Juegos serios y entrenamiento en la sociedad digital. *Teoría de la Educación: Educación y Cultura en la Sociedad de la Información*, 9(3), 93-107.http://campus.usal.es/~teoriaeducacion/rev_numero_09_03/n9_03_marcano.pdf.
- Masterpasqua, F. & Healey, K. (2003). *Neurofeedback* in Psychological practice. *Professional Psychology: Research and Practice*, 34(6), 652-656.
- Miquel, J. “Integración de teorías del envejecimiento” (parte I). En: *Rev.Esp.Geriatr. Gerontol.* 41(1). Departamento de Biotecnología. Universidad de alicante, Alicante, España, 2006, pp. 55-63.
- Mitsuo Kawato (2008) Brain controlled robots, *HFSP Journal*, 2:3, 136- 142.

- Muñoz, J. E., López, D. S., López, J. F., & López, A. (2015, September). Design and creation of a BCI videogame to train sustained attention in children with ADHD. In Computing Colombian Conference (10CCC), 2015 10th (pp. 194-199). IEEE.
- Mulert, C., & Lemieux, L. (2010). EEG-fMRI : physiological basis, technique, and applications. Heidelberg: Springer.
- McVay, J. C., Unsworth, N., McMillan, B. D., & Kane, M. J. (2013). Working memory capacity does not always support future-oriented mind-wandering. *Canadian Journal of Experimental Psychology/Revue canadienne de psychologie expérimentale*, 67(1), 41-50.
- National Institute for Health and Clinical Excellence. Quick reference guide: demencia. Londres: NICE; 2006.
- Norton, D. & Kaplan, R. (2009). El cuadro de mando integral. Editorial gestión ISBN 978-84-9875-048-5
- Nunez, P. L., & Srinivasan, R. (2006). The Physics-EEG Interface. In Author (Ed.), *Electric fields of the brain: the neurophysics of EEG* (2nd ed., pp. 611 p.). Oxford ; New York: Oxford University Press.
- Olazarán J, Clare L, on behalf of the Non-pharmacological Therapies Project. Non-pharmacological therapies in Alzheimer's disease: a systematic review of efficacy. *Alzheimer Dem* 2006; 2 [Suppl 1]: S28.
- Olazarán J, Muniz R, Reisberg B, Pena-Casanova J, del Ser T, CruzJentoft AJ, et al. Benefits of cognitive-motor intervention in MCI and mild to moderate Alzheimer disease. *Neurology* 2004; 63: 2348-53.
- Onder. G, et al. 2004. Reality orientation therapy combined with cholinesterase inhibitors in Alzheimer's disease: randomized controlled trial. *Br J Psychiatry* 187: 450-5.
- Organizacion Mundial de la Salud OMS citado el 15/01/2017 de: <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs381/es/>

- Ospina, D., Parrado, F., Henao, O., & López, J. (2014). Graph Theory and Small World Networks Theory Applied to EEG Signals Obtained Using a Low Cost BCI S. Paper presented at the XVII Biennial Meeting of the International Society for Comparative Psychology, Bogotá.
- Osterwalder, A. (2004). The Business Model Ontology. usa: Universite De Lausanne.
- Osterwalder, A. y Pigneur, Y. (2010). Generación de modelos de negocio. España: Deusto.
- Park, D. (2002). Mecanismos básicos que explican el declive del funcionamiento cognitivo en el envejecimiento. En Park, D. y Schwarz, N. (Eds.) Envejecimiento Cognitivo (pp. 3-22). Buenos Aires, Editorial médica Panamericana.
- Pascual, G. et al, 1998. Cognición- ocupación: Un binomio unido en la vejez. Revista Geriatrika; 14(3): 57-60.
- Peña, C. 1999. Intervención cognitiva en la enfermedad de Alzheimer. Fundamentos y principios generales. Fundación Caixa: Barcelona;
- Perronnet, L., Lécuyer, A., Lotte, F., Clerc, M., & Barillot, C. (2016). Brain training with neurofeedback. Brain-Computer Interfaces 1: Foundations and Methods, 271-292.
- Piana, S., Staglianò, A., Camurri, A., & Odone, F. (2013). A set of Full-Body Movement Features for Emotion Recognition to Help Children affected by Autism Spectrum Condition. Paper presented at the IDGEI International Workshop.
- Pinazo, S., y Sánchez Martínez, M. (Dirs.) (2006). Gerontología. Actualización, innovación y propuestas. Madrid: Prentice-Hall (Pearson Educacion).
- Lynch Serman, M. B., & Eegner, T. (2006). Foundation and practice of *neurofeedback* for the treatment of epilepsy. Applied Psychophysiology and Biofeedback, 31 (1), 21-35. doi:10.1007/s10484-006-9002-x.
- Nielsen, Jacob. 2005.Ten Usability Heuristics. Obtenida el 07 de Enero de 2007. (En línea).Disponible en http://www.useit.com/papers/heuristic/heuristic_list.html

- Sattler, J.M (2008b). Resource guide to accompany assessment of children: Cognitive foundations (5° ed). San Diego, CA: Author.
- Stern, &. Egner (2006). Cognitive Reserve and Alzheimer Disease. *Alzheimer Disease and Associated Disorder*, 20: 112-117.
- Thompson, L. & Thompson, M. (2005). *Neurofeedback* Intervention for Adults with ADHD. *Journal of Adult Development*, 12(2/3), DOI: 10.1007/s1080400570286.
- Thompson, L., Thompson, M. & Reid, A. (2010). *Neurofeedback* Outcomes in Clients with Asperger's Syndrome. *Applied Psychophysiology Biofeedback*, 35, 63-81, DOI 10.1007/s1048400991203.
- Tirapu-Ustárrroz, J.; Muñoz-Céspedes, J.M. (2005) Memoria y funciones ejecutivas. Revisión. España: *Revista de Neurología*; (vol. 41, núm. 8, págs. 475-484).
- Carballo, V. et al 2013. Efectos de la terapia no farmacológica en el envejecimiento normal y el deterioro cognitivo: consideraciones sobre los objetivos terapéuticos, *Neurología*, Volume 28, Issue 3, Pages 160-168, ISSN 0213-4853.
- Vernon, D., Frinck, A., y Gruzelier, J. (2004). *Neurofeedback* as a treatment for ADHD: A Methodological Review with Implications for Future Research. *Journal of Neurotherapy*, 8, 53-82
- Vernon, D. J. (2005). "Can *neurofeedback* training enhance performance? An evaluation of the evidence with implications for future research.". *Applied Psychophysiology and Biofeedback*, 30(4), 347–364
- Woods RT, Britton PG. Psychological approaches to the treatment of the elderly. *Age Aging* 1977; 6: 104-12.
- Zanto, Theodore P; Rubens, Michael T; - Thangavel, Arul; Gazzaley, Adam; Causal role of the prefrontal cortex in top-down modulation of visual processing and working memory, *Nature Neuroscience* 2011/03/27/online <http://dx.doi.org/10.1038/nn.2773> Nature Publishing Group, a division of Macmillan Publishers Limited. All Rights

13 ANEXOS

Cuestionario SUS (System Usability Scale); Escala para la Usabilidad de los Sistemas

PREGUNTAS	Totalmente en desacuerdo	En desacuerdo	Indeciso	De acuerdo	Totalmente de acuerdo
Creo que me gustaría utilizar este sistema frecuentemente	1	2	3	4	5
Encuentro este sistema innecesariamente complejo	1	2	3	4	5
Pienso que el sistema es fácil de usar	1	2	3	4	5
Creo que necesitaría soporte técnico para hacer uso del sistema	1	2	3	4	5
Encuentro las diversas funciones del sistema bastante bien integradas	1	2	3	4	5
He encontrado demasiada inconsistencia en este sistema	1	2	3	4	5
Creo que la mayoría de la gente aprendería a hacer uso del sistema rápidamente	1	2	3	4	5
He encontrado el sistema bastante incómodo para usar	1	2	3	4	5
Me he sentido muy seguro haciendo uso del sistema	1	2	3	4	5
Necesitaría aprender un montón de cosas antes de poder manejar el sistema	1	2	3	4	5

FUENTE: Manual de Técnicas para el Diseño Participativo de Interfaces de Usuario de Sistemas basados en Software y Hardware Brooke (1996).

Anexo 1 Cuestionario SUS



CONSENTIMIENTO INFORMADO PARA LA PARTICIPACIÓN EN INVESTIGACIONES

CÓDIGO: GIN-FOR-16

VERSIÓN: 1

FECHA ELABORACIÓN DEL FORMATO : 04/JUN/2015

GRUPO DE INVESTIGACIÓN
Automática


INVESTIGACIÓN:
SISTEMA PARA EL ENTRENAMIENTO DE LA MEMORIA DE TRABAJO EN ADULTOS MAYORES USANDO PROCESOS DE NEUROREHABILITACIÓN E INTERFAZ HUMANO-COMPUTADOR PORTABLE

Ciudad y fecha: Dosquebradas 16 de agosto de 2018

Yo, _____ una vez informado sobre los propósitos, objetivos, procedimientos de intervención y evaluación que se llevarán a cabo en esta investigación y los posibles riesgos que se puedan generar de ella, autorizo a José Luis Rodríguez Sotelo, Luisa Fernanda Méndez Ramírez y Leidy Johanna Villegas Jaramillo de la Universidad Autónoma de Manizales, para la realización de los siguientes procedimientos:

1. Se diligenciarán mis datos de identificación personales y antecedentes.
2. Me realizaran la prueba de tamización sencilla Mini mental.
3. Me realizaran la aplicación de la prueba escrita letras y números y dígitos de la Escala de inteligencia de Wechsler para adultos (WAIS-IV), es un instrumento clínico para evaluar la inteligencia de adultos de 16 a 89 años. En este caso se tomará la que refleja el funcionamiento intelectual en la memoria de trabajo y velocidad de procesamiento.
4. Me fijaran sobre la cabeza un Auricular de EEG denominado Mindwave Mobile que tiene (01) un solo sensor colocado en la frente que permite visualizar mis ondas cerebrales durante la realización de la tarea, realizare solo dos actividades en cada sesión, y finalizando cada uno de los niveles del juego debo llevar mi concentración a 60 para pasar de nivel.
5. Me explicarán primer nivel a realizar, la cual consiste en visualizar un teclado de un teléfono que va mostrando un orden secuencial de encendido el cual debo recordar y repetir dando clic en el orden que aparecieron.
6. Me explicarán el segundo nivel a realizar, la cual consiste en visualizar una serie de letras que se muestran de forma secuencial formando una palabra, la cual debo seleccionar de una lista de posibles respuestas.
7. Me explicarán el tercer nivel a realizar, la cual consiste en realizar operaciones matemáticas mentalmente de suma, resta, multiplicación y división, y seleccionar de una lista la respuesta la correcta.
8. Me explicarán el cuarto nivel a realizar, la cual consiste en visualizar una serie de imágenes que se muestran de forma secuencial y cambian de posición debo recordar el orden dando clic una a una.
9. Me explicarán el quinto nivel a realizar, la cual consiste en visualizar un conjunto de cuadrados que van cambiando de color en secuencia que debo recordar y repetir dando clic en el orden que aparecieron.
10. Me explicarán el sexto nivel a realizar, la cual consiste en visualizar una secuencia de números el cual debo recordar y repetir dando clic de forma inversa a la que aparecieron.
11. Me explicarán el séptimo nivel a realizar, la cual consiste en dar solución a un concéntrase.
12. Me explicarán la octava actividad a realizar, la cual consiste en visualizar un grupo de números y ordenar de menor a mayor.
13. Me explicarán la novena prueba a realizar, la cual consiste en visualizar un conjunto de palabras que inician con diferentes letras, debo seleccionar la letra B y las palabras que comienzan con ella y luego hacer lo mismo con la letra D, con las demás palabras no debo realizar ninguna acción.
14. Me explicarán la décima actividad a realizar, la cual consiste en observar una serie de rostros de personas con sus respectivos nombres, que se muestran de forma secuencial, debo recordarlas para relacionarlas nuevamente porque cambian de ubicación y se mezclan los nombres.
15. Se retirará cada dos actividades el auricular de EEG denominado Mindwave Mobile, siempre tendré

Anexo 2 Consentimiento informado

	CONSENTIMIENTO INFORMADO PARA LA PARTICIPACIÓN EN INVESTIGACIONES	CÓDIGO: GIN-FOR-16
		VERSIÓN: 1
		FECHA ELABORACIÓN DE FORMATO : 04/JUN/2011

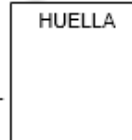
acompañamiento y asesoría durante la realización de cada uno de los niveles.
 16. Al finalizar los cinco días de actividades me realizarán nuevamente la aplicación de la prueba escrita de letras y números y dígitos de la Escala de inteligencia de Wechsler para adultos (WAIS-IV).

Adicionalmente se me informó que:

- Si en mis actividades cotidianas requiero del uso de anteojos, debo llevarlos al procedimiento.
- Mi participación en esta investigación es completamente libre y voluntaria, estoy en libertad de retirarme de ella en cualquier momento.
- No recibiré beneficio personal de ninguna clase por la participación en este proyecto de investigación. Sin embargo, se espera que los resultados obtenidos permitan mejorar los procesos de evaluación de pacientes con condiciones clínicas similares a las mías.
- Toda la información obtenida y los resultados de la investigación serán tratados confidencialmente. Esta información será archivada en papel y medio electrónico. El archivo del estudio se guardará en la Universidad Autónoma de Manizales bajo la responsabilidad de los investigadores.
- Puesto que toda la información en este proyecto de investigación es llevada al anonimato, los resultados personales no pueden estar disponibles para terceras personas como empleadores, organizaciones gubernamentales, compañías de seguros u otras instituciones educativas. Esto también se aplica a mi cónyuge, a otros miembros de mi familia y a mis médicos.
- El único riesgo que puedo sufrir está relacionado con cansancio y fatiga por lo que se prevé un periodo de descanso de 10 minutos entre cada prueba.

Hago constar que el presente documento ha sido leído y entendido por mí en su integridad de manera libre y espontánea.

 Firma del participante
 Documento de identidad CC. No. _____ de _____
 Huella Índice derecho:



Proyecto aprobado por el comité de Bioética de la UAM, según consta en el acta No 080 del 15-08-2018

Nombre de la investigación en la cual usted participará: Sistema para el entrenamiento de la memoria de trabajo en adultos mayores usando procesos de ~~neuroRehabilitación~~ e interfaz humano-computador portable.

Objetivo general: Desarrollar un sistema para el entrenamiento de memoria de trabajo en adultos mayores usando como herramientas la interacción de software, procesos de ~~neuroRehabilitación~~ e interfaz humano-computador portable.

Justificación: Según datos de la Organización Mundial de la Salud (OMS), en el año 2016 el porcentaje de adultos mayores de 60 años alcanzaba el 12%, mientras que las estimaciones para el 2050 indican que la población de estas edades alcanzará el 22% a nivel mundial (Estadísticas Sanitarias Mundiales, 2017). Lo que trae consigo dificultades en el entorno social, familiar y personal del adulto mayor con afectación en la memoria del trabajo, en la actualidad se cuenta con pocos estudios de Neurofeedback en la memoria del trabajo, y no se conocen hasta el momento y según lo investigado, el desarrollo de una herramienta de entrenamiento a través de Neurofeedback amigable con el usuario y con costos reducidos, que permitan el entrenamiento de la memoria del trabajo del adulto mayor.

Riesgos esperados: Esta investigación está en concordancia con el capítulo II artículo 17 de la resolución 8430 de 1993, se considera de riesgo menor que mínimo.

Beneficios: Se ofrecerá una herramienta que podrán profundizar en áreas de neurociencia cognitivas para el entrenamiento de la memoria del trabajo en adultos mayores, la cual permitirá contribuir al mejoramiento de la calidad de vida de esta población.

3. Dígitos



Comienzo
 Edad 16-89:
 orden directo: ítem 1;
 orden inverso: ítem de ejemplo e ítem 1;
 orden creciente: ítem de ejemplo e ítem 1.



Terminación
 Orden directo, orden inverso y orden creciente: después de 2 puntuaciones de 0 en los dos intentos del mismo ítem.



Puntuación
 0 o 1 punto por cada intento.
 DD, DI, y DC
 Puntuación directa para orden directo, inverso y creciente respectivamente.
 SpanDD, SpanDI, SpanDC
 Número de dígitos recordado en el último intento puntuado con 1 punto de dígitos orden directo, inverso y creciente, respectivamente.

Orden directo

Ítem	Intento	Respuesta	Punt. intento	Puntuación ítem
16-89 → 1.	9-7		0 1	0 1 2
	6-3		0 1	
2.	5-8-2		0 1	0 1 2
	6-9-4		0 1	
3.	7-2-8-6		0 1	0 1 2
	6-4-3-9		0 1	
4.	4-2-7-3-1		0 1	0 1 2
	7-5-8-3-6		0 1	
5.	3-9-2-4-8-7		0 1	0 1 2
	6-1-9-4-7-3		0 1	
6.	4-1-7-9-3-8-6		0 1	0 1 2
	6-9-1-7-4-2-8		0 1	
7.	3-8-2-9-6-1-7-4		0 1	0 1 2
	5-8-1-3-2-6-4-7		0 1	
8.	2-7-5-8-6-3-1-9-4		0 1	0 1 2
	7-1-3-9-4-2-5-6-8		0 1	

SpanDD
(Máximo=9)

Puntuación directa Dígitos orden directo (DD)
(Máximo=16)

Orden inverso

Ítem	Intento	Respuesta correcta	Respuesta	Punt. intento	Puntuación ítem
16-89 → Ej.	7-1	1-7			
	3-4	4-3			
16-89 → 1.	3-1	1-3		0 1	0 1 2
	2-4	4-2		0 1	
2.	4-6	6-4		0 1	0 1 2
	5-7	7-5		0 1	
3.	6-2-9	9-2-6		0 1	0 1 2
	4-7-5	5-7-4		0 1	
4.	8-2-7-9	9-7-2-8		0 1	0 1 2
	4-9-6-8	8-6-9-4		0 1	
5.	6-5-8-4-3	3-4-8-5-6		0 1	0 1 2
	1-5-4-8-6	6-8-4-5-1		0 1	
6.	5-3-7-4-1-8	8-1-4-7-3-5		0 1	0 1 2
	7-2-4-8-5-6	6-5-8-4-2-7		0 1	
7.	8-1-4-9-3-6-2	2-6-3-9-4-1-8		0 1	0 1 2
	4-7-3-9-6-2-8	8-2-6-9-3-7-4		0 1	
8.	9-4-3-7-6-2-1-8	8-1-2-6-7-3-4-9		0 1	0 1 2
	7-2-8-1-5-6-4-3	3-4-6-5-1-8-2-7		0 1	

SpanDD
(Máximo=9)

Puntuación directa Dígitos orden directo (DD)
(Máximo=16)

3. Dígitos (continuación)

Orden creciente

Terminar después de 2 puntuaciones de 0 en los dos intentos del mismo ítem

Item	Intento	Respuesta correcta	Respuesta	Punt. intento	Puntuación ítem
Ej.	2-3-1	1-2-3			
	5-2-2	2-2-5			
1.	1-2	1-2		0 1	0 1 2
	4-2	2-4		0 1	
2.	3-1-6	1-3-6		0 1	0 1 2
	0-9-4	0-4-9		0 1	
3.	8-7-9-2	2-7-8-9		0 1	0 1 2
	4-8-7-1	1-4-7-8		0 1	
4.	2-6-9-1-7	1-2-6-7-9		0 1	0 1 2
	3-8-3-5-8	3-3-5-8-8		0 1	
5.	2-1-7-4-3-6	1-2-3-4-6-7		0 1	0 1 2
	6-2-5-2-3-4	2-2-3-4-5-6		0 1	
6.	7-5-7-6-8-6-2	2-5-6-6-7-7-8		0 1	0 1 2
	4-8-2-5-4-3-5	2-3-4-4-5-5-8		0 1	
7.	5-8-7-2-7-5-4-5	2-4-5-5-5-7-7-8		0 1	0 1 2
	9-4-9-7-3-0-8-4	0-3-4-4-7-8-9-9		0 1	
8.	5-0-1-1-3-2-1-0-5	0-0-1-1-1-2-3-5-5		0 1	0 1 2
	2-7-1-4-8-4-2-9-6	1-2-2-4-4-6-7-8-9		0 1	

Span00 (Máximo=9) Puntuación directa Dígitos orden creciente (DC) (Máximo=16)

Puntuación directa Dígitos (Máximo=48)

4. Matrices

Comienzo Edad 16-99: **Inicio de ejemplo A y B, e ítem 4.**

Retorno Si se obtiene 0 puntos en uno de los dos primeros ítems aplicados (4 o 5), aplicar los ítems anteriores en orden inverso hasta obtener dos respuestas correctas consecutivas.

Terminación Después de 3 puntuaciones de 0 consecutivas.

Puntuación 0 o 1 punto. Las respuestas correctas están en color.

Item	Respuesta	Puntuación	Item	Respuesta	Puntuación
Ej. A	1 2 3 4 5		13.	1 2 3 4 5	0 1
Ej. B	1 2 3 4 5		14.	1 2 3 4 5	0 1
1.	1 2 3 4 5	0 1	15.	1 2 3 4 5	0 1
2.	1 2 3 4 5	0 1	16.	1 2 3 4 5	0 1
3.	1 2 3 4 5	0 1	17.	1 2 3 4 5	0 1
4.	1 2 3 4 5	0 1	18.	1 2 3 4 5	0 1
5.	1 2 3 4 5	0 1	19.	1 2 3 4 5	0 1
6.	1 2 3 4 5	0 1	20.	1 2 3 4 5	0 1
7.	1 2 3 4 5	0 1	21.	1 2 3 4 5	0 1
8.	1 2 3 4 5	0 1	22.	1 2 3 4 5	0 1
9.	1 2 3 4 5	0 1	23.	1 2 3 4 5	0 1
10.	1 2 3 4 5	0 1	24.	1 2 3 4 5	0 1
11.	1 2 3 4 5	0 1	25.	1 2 3 4 5	0 1
12.	1 2 3 4 5	0 1	26.	1 2 3 4 5	0 1

Puntuación directa Matrices (Máximo=26)

11. Letras y números

Comienzo
 Edad 16-89:
 Ítem de demostración A, ítem de ejemplo A e ítem 1.
 Edad 70-89:
 no aplicar

Terminación
 Después de 3 puntuaciones de 0 en los tres intentos del mismo ítem.

Puntuación
 0 o 1 puntos por cada ítem.
SpanLN
 Número de letras y números recordados en el último intento puntuado con 1 punto.

	Ítem.	Intento	Respuestas correctas	Respuesta	Punt. intento	Punt. ítem
16-89	Demo A.	C-1	1-C			
16-89	Ej. A.	A-4	4-A			
		2-B	2-B		0 1	0 1
16-89	11.	D-1	1-D		0 1	2 3
		4-C	4-C		0 1	
		E-5	5-E		0 1	0 1
	12.	3-A	3-A		0 1	
		C-1	1-C		0 1	2 3

† Si el sujeto no da la cifra en primer lugar, decir: «Recuerde que primero debe decir el número y después la letra».

	Demo B.	2-B-1	1-2-B			
		D-5-A	5-A-D			
	Ej. B.	2-B-4	2-4-B			
		5-C-A	5-A-C	A-C-5	0 1	0 1
	3.	F-E-1	1-E-F	E-F-1	0 1	2 3
		3-2-A	2-3-A	A-2-3	0 1	
		1-G-7	1-7-G	G-1-7	0 1	0 1
	4.	H-9-4	4-9-H	H-4-9	0 1	2 3
		3-Q-7	3-7-Q	Q-3-7	0 1	
		Z-8-N	8-N-Z	N-Z-8	0 1	0 1
	5.	M-6-E	6-E-M	E-M-6	0 1	2 3
		P-2-N	2-N-P	N-P-2	0 1	
		V-1-J-5	1-5-J-V	J-V-1-5	0 1	0 1
	6.	7-X-4-G	4-7-G-X	G-X-4-7	0 1	2 3
		S-9-T-6	6-9-S-T	S-T-6-9	0 1	
		8-E-6-F-1	1-6-8-E-F	E-F-1-6-8	0 1	0 1
	7.	K-4-C-2-S	2-4-C-K-S	C-K-S-2-4	0 1	2 3
		5-Q-3-H-6	3-5-6-H-Q	H-Q-3-5-6	0 1	
		M-4-P-7-R-2	2-4-7-M-P-R	M-P-R-2-4-7	0 1	0 1
	8.	6-N-9-J-2-S	2-6-9-J-N-S	J-N-S-2-6-9	0 1	2 3
		E-6-H-5-F-3	3-5-6-E-F-H	E-F-H-3-5-6	0 1	
		R-7-V-4-T-8-F	4-7-8-F-R-T-V	F-R-T-V-4-7-8	0 1	0 1
	9.	9-X-2-J-3-N-7	2-3-7-9-J-N-X	J-N-X-2-3-7-9	0 1	2 3
		M-1-Q-8-R-4-D	1-4-8-D-M-Q-R	D-M-Q-R-1-4-8	0 1	
		6-P-7-S-2-N-9-A	2-6-7-9-A-N-P-S	A-N-P-S-2-6-7-9	0 1	0 1
	10.	E-1-R-9-X-4-K-3	1-3-4-9-E-K-R-X	E-K-R-X-1-3-4-9	0 1	2 3
		7-M-2-T-6-F-9-A	2-6-7-9-A-F-M-T	A-F-M-T-2-6-7-9	0 1	

SpanLN
(Máximo = 3)

Puntuación directa Letras y números
(Máximo = 30)