

PI173-6-VIA

VIA – Videojuego con Técnicas de Interfaz Cerebro Computador para la Intervención de
Procesos de Biorrealimentación en Atención

Autor

Santiago Quintero Guzmán

PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA
FACULTAD DE INGENIERIA
MAESTRÍA EN INGENIERÍA DE SISTEMAS Y COMPUTACIÓN
BOGOTÁ, D.C.
2017

PI173-6-VIA

VIA – Videojuego con Técnicas de Interfaz Cerebro Computador para la
Intervención de Procesos de Biorrealimentación en Atención

Autor:

Santiago Quintero Guzmán

MEMORIA DEL TRABAJO DE GRADO REALIZADO PARA CUMPLIR UNO
DE LOS REQUISITOS PARA OPTAR AL TÍTULO DE
MAGÍSTER EN INGENIERÍA DE SISTEMAS Y COMPUTACIÓN

Directora

Andrea Del Pilar Rueda Olarte

Comité de Evaluación del Trabajo de Grado

Jose Hernando Hurtado Rojas

César Julio Bustacara Medina

Página web del Trabajo de Grado

<http://pegasus.javeriana.edu.co/~PI173-6-VIA>

PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA
FACULTAD DE INGENIERIA
MAESTRÍA EN INGENIERIA DE SISTEMAS Y COMPUTACIÓN
BOGOTÁ, D.C.

Diciembre, 2017

**PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA
FACULTAD DE INGENIERIA
MAESTRÍA EN INGENIERÍA DE SISTEMAS Y COMPUTACIÓN**

Rector Magnífico

Jorge Humberto Peláez, S.J.

Decano Facultad de Ingeniería

Ingeniero Jorge Luis Sánchez Téllez

Director Maestría en Ingeniería de Sistemas y Computación

Ingeniera Angela Carrillo Ramos

Director Departamento de Ingeniería de Sistemas

Ingeniero Efraín Ortíz Pabón

Artículo 23 de la Resolución No. 1 de Junio de 1946

“La Universidad no se hace responsable de los conceptos emitidos por sus alumnos en sus proyectos de grado. Sólo velará porque no se publique nada contrario al dogma y la moral católica y porque no contengan ataques o polémicas puramente personales. Antes bien, que se vean en ellos el anhelo de buscar la verdad y la Justicia”

AGRADECIMIENTOS

Deseo agradecer amablemente a mi directora de trabajo de grado de la Maestría de Ingeniería de Sistemas y Computación de la Pontificia Universidad Javeriana Andrea del Pilar Rueda Olarte por su incondicional y constante guía. También debo agradecer a quienes participaron activamente como Angela Riveros, Gabriel Ávila, Pablo Fuentes y Federico Rodríguez por sus apropiadas y acertadas intervenciones técnicas. Por último, pero no menos importante, agradezco a mi familia por su apoyo incondicional.

Contenido

1.	INTRODUCCIÓN.....	10
2.	DESCRIPCIÓN GENERAL	11
2.1	OPORTUNIDAD Y PROBLEMÁTICA.....	11
2.2	PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN	13
3.	DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO.....	14
3.1	OBJETIVO GENERAL	14
3.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	14
3.3	FASES DE DESARROLLO	14
3.4	CARACTERIZACIÓN E IDENTIFICACIÓN	15
3.5	DISEÑO DEL PROTOTIPO DE VIDEOJUEGO	15
3.6	IMPLEMENTACIÓN DEL PROTOTIPO.....	16
3.7	VALIDACIÓN DEL PROTOTIPO	16
4.	MARCO TEÓRICO / ESTADO DEL ARTE.....	17
4.1	INTRODUCCIÓN	17
4.2	BIORREALIMENTACIÓN ELECTROENCEFALOGRÁFICA COMO TERAPIA PSICOLÓGICA PARA LA AUTORREGULACIÓN Y CONTROL DE ESTÍMULOS.....	18
4.3	REALIDAD VIRTUAL PARA NEUROFEEDBACK	23
4.4	JUEGOS SERIOS.....	24
4.5	INTERFAZ CEREBRO COMPUTADOR (ICC) PARA NEUROFEEDBACK (TÉCNICAS DE BCI, DISPOSITIVOS).....	25
5.	TRABAJOS RELACIONADOS.....	27
6.	PROCESO DE DISEÑO	28
6.1	INTERDISCIPLINARIEDAD	28
6.2	DISEÑO	28
6.3	GRUPO CONTROL	28
6.4	ELEMENTOS DE REALIMENTACIÓN	29

6.5	REQUERIMIENTOS FUNCIONALES	29
6.6	REQUERIMIENTOS NO FUNCIONALES	30
6.7	METAS Y RESTRICCIONES DE LA ARQUITECTURA	34
6.8	HERRAMIENTAS, LENGUAJES Y TECNOLOGÍAS	34
6.9	SISTEMA INTERNACIONAL 10-20.....	35
7.	IMPLEMENTACIÓN.....	37
7.1	OBJETIVO.....	37
7.2	ELEMENTOS DE ACCIÓN	40
7.3	ELEMENTOS DE INFORMACIÓN/REALIMENTACIÓN.....	42
8.	PROCESO DE VALIDACIÓN	43
8.1	VARIABILIDAD DEL TIEMPO DE RESPUESTA	43
8.2	TIEMPO DE RESPUESTA CORRECTO	43
8.3	TIEMPO DE RESPUESTA INCORRECTO.....	43
8.4	ERRORES DE COMISIÓN	43
8.5	ERRORES DE OMISIÓN	43
8.6	MUESTRAS CORRECTAS	44
8.7	PROCESO.....	44
8.8	RESULTADOS INDIVIDUOS ENTRE 18 Y 20 AÑOS.....	45
8.9	RESULTADOS INDIVIDUOS ENTRE 30 Y 35 AÑOS.....	48
8.10	RESULTADOS INDIVIDUOS MAYORES DE 50 AÑOS	51
9.	CONCLUSIONES.....	55
10.	REFERENCIAS	57
11.	ANEXOS.....	60

ABSTRACT

In this degree work, a real time 3D video game is implemented with brain computer interface techniques, to modify the neural behavior of people with therapeutic purposes focused on the treatment of attention deficit and hyper-activity disorders. It also makes use of biofeedback techniques of electroencephalographic signals to be able to use it as an experimental treatment to increase the levels of attention in real time of a person without diagnosed pathologies.

RESUMEN

En este trabajo de grado se implementa un videojuego en 3D en tiempo real con técnicas de interfaz cerebro computador, para modificar el comportamiento neuronal de las personas con fines terapéuticos enfocado al tratamiento de trastornos por déficit de atención e hiperactividad. Hace uso también de técnicas de bioalimentación de señales electroencefalográficas para así, poder usarlo como tratamiento experimental para incrementar los niveles de atención en tiempo real de una persona sin patologías diagnosticadas.

RESUMEN EJECUTIVO

Actualmente las personas que tienen un problema de trastorno de déficit de atención e hiperactividad (TDAH) son tratadas mediante métodos farmacéuticos y en muy pocos casos utilizan métodos menos invasivos como terapias cognitivas, estimulación cognitiva o técnicas para reducir o eliminar los comportamientos no deseados. En este trabajo de grado el propósito se enfocó en una condición mental (TDAH) para lograr efectos positivos y acertados en personas no diagnosticadas con esta condición mental.

Para lograr el objetivo se hizo una investigación exhaustiva sobre las técnicas de Interacción Cerebro Computador (ICC) y Biorealimentación (BF) enfocado en Neurofeedback (NF). Estas técnicas mostraron ser innovadoras para el tratamiento cognitivo y refuerzo mental mediante la auto reprogramación de comportamientos mentales. La ICC pretende crear un puente entre la actividad cerebral de una persona y un dispositivo electrónico en el cual se realiza un proceso de señales para lograr una interacción asertiva de los objetivos mentales de la persona. Una vez el sistema ha sido establecido, se toma el NF como técnica para la retroalimentación visual a partir de un videojuego que se encuentra como dispositivo electrónico y cierra el ciclo entre actividad cerebral y respuesta de esa actividad cerebral.

Los datos que se leen de la actividad cerebral son obtenidos de un dispositivo para capturar señales electroencefalográficas EMOTIV, el cual tiene 16 electrodos para obtener una señal fiel de la actividad cerebral de una persona. Estas señales son procesadas y enviadas al prototipo de videojuego VIA el cual fue realizado en Unity 3D para lograr un resultado llamativo de acuerdo con las características avanzadas que trae esta tecnología para el desarrollo de videojuegos. Para poder enlazar el dispositivo EMOTIV con el videojuego, se implementó una biblioteca de enlace dinámico quien lee las señales del EMOTIV y obtiene el valor de compromiso y atención. Este valor es un valor obtenido gracias a la interfaz de programación de aplicaciones que ofrece EMOTIV como paquete de affective, en el que se puede obtener un valor entre 0 y 1 de acuerdo con el nivel de atención que se encuentra el usuario. Este valor es enviado en tiempo real al videojuego el cual de forma visual muestra un elemento para el usuario como referencia de su realimentación. Para evaluar el valor óptimo de atención y de aburrimiento y disperso, se hizo una media de ese valor en condiciones de relajación y así mismo después, para establecer el valor de atención se hizo mediante la prueba de TOAV.

El videojuego (VIA) tiene como objetivo incentivar y entrenar al usuario para incrementar sus niveles de atención en una tarea específica. VIA es una carrera de automóviles en el cual el usuario debe competir para ganar una carrera. Para poder ganar una carrera el usuario debe tener un nivel de atención promedio y una acción física al teclear el espaciador para ganar de acuerdo con el nivel en el que se encuentre. La interacción que debe hacer el usuario con VIA está inspirada en la aplicación que se usa en este trabajo de grado para validar los resultados finales, PEBL Test de vigilancia atencional (TOAV). VIA consta de tres niveles de dificultad: El primero es el nivel de entrenamiento que requiere un usuario para comprender la jugabilidad del videojuego. El segundo, aumenta la dificultad para poder lograr el objetivo y el tercero, vuelve a aumentar la dificultad.

Una vez el sistema estuvo establecido, se reunió un grupo de personas para realizar el experimento. Este grupo de personas, de las cuales dos fueron mayores de 50 años, dos estaban entre 30 y 35 años y los últimos dos están entre 18 y 20 años, debieron realizar una prueba inicial para obtener su estado actual de atención. Esta prueba se realizó con una aplicación especializada para evaluar los niveles de atención, PEBL (TOAV). Esta prueba dura 24 minutos aproximadamente y al final se obtienen los resultados de la persona en un archivo.

Una vez las pruebas iniciales fueron realizadas, el grupo de evaluación realizó una actividad de entrenamiento con VIA durante 5 días y una hora diaria. Las características del entorno fueron las mismas para cada uno de los participantes para garantizar un resultado objetivo. Dichas características fueron evaluadas por psicólogos que realizan actualmente procedimientos de NF. En primera instancia se debió relajar al paciente con música clásica y aislarlo lo más posible de ruidos y actividades externas que pudieran influir en el resultado de las pruebas. Cada uno de los participantes no debió tomar bebidas con cafeína durante el proceso ni fumar 3 horas antes para los fumadores. Al finalizar la actividad de entrenamiento, cada uno de los participantes debió realizar de nuevo las pruebas de PEBL (TOAV) para poder ver los cambios y validar resultados después del experimento. La prueba de TOAV evalúa la variabilidad del tiempo de respuesta, el tiempo de respuesta acertado, el tiempo de respuesta erróneo, errores de comisión, errores de omisión, respuestas anticipadas, múltiples respuestas y objetivos acertados.

TOAV consiste en una implementación de Test de variables de atención (TOVA) libre para uso experimental. La actividad consiste en un cuadro blanco que aparece brevemente en la pantalla, con un cuadro negro adentro de él. El usuario debe reaccionar únicamente a objetivo (cuadros negros en la parte de arriba del cuadro blanco) haciendo click en la tecla espaciadora del teclado del computador y omitiendo los no objetivos (cuadros negros en la parte de abajo del cuadro blanco). La primera mitad de la prueba, los objetivos son escasos y aparecen rara vez, mientras que, en la segunda mitad de la prueba, estos aparecen más frecuentemente.

Al finalizar todo el proceso se hizo un análisis cuantitativo de los resultados de cada uno de los participantes y se generalizó un resultado. Aunque las edades influyeron en los resultados de los participantes, los 6 participantes tuvieron una mejoría en sus niveles de atención. Un aumento no tan considerable con respecto al inicial en las personas de 30 a 35 años mostró que la prueba inicial fue casi igual a la prueba final. Sin embargo, los participantes mayores de 50 años y menores de 20 tuvieron un incremento significativo el cual da una validación de VIA como alternativa de tratamiento para incrementar los niveles de atención en una persona no diagnosticada con alguna patología como TDAH, incluso se podría establecer como herramienta positiva para el tratamiento alternativo de personas diagnosticadas con TDAH.

1. INTRODUCCIÓN

En este documento se plantea la realización de un prototipo de videojuego con técnicas de Interfaz Cerebro Computador (ICC) y *Neurofeedback* para el mejoramiento de los niveles de atención en el periodo académico 2017-3. Se levantaron requerimientos generales con ayuda de los asesores de psicología para la realización de un prototipo que permitiera la elaboración de un sistema específico requerido por el cliente (psicólogos). En la fase de pruebas se llevaron a cabo las pruebas necesarias con 6 individuos que cooperaron para someterse a una actividad de cinco días.

El tema de psicología para la autorregulación y re entrenamiento por medio de la actividad cerebral, se escogió durante la primera reunión que se tuvo con los psicólogos quienes propusieron el tema para ser desarrollado y acotaron el tema de personas diagnosticadas con TDAH, ya que este es un tema complicado de validar con personas que tengan ese diagnóstico. El tema de mejorar los niveles de atención ha sido poco explorado y por lo tanto es pertinente para la integración de las dos disciplinas (Psicología e Ingeniería de Sistemas).

Este documento inicia explicando en el segundo capítulo los conceptos teóricos que se tuvieron en cuenta para desarrollar VIA. En el mismo capítulo, se encuentra la pregunta generadora que dio base a este proyecto. Seguido de esto, se encuentran los objetivos que se plantearon durante la propuesta en el capítulo tres junto con los objetivos específicos y las fases de trabajo realizado durante el trabajo de grado. En el capítulo cuatro se encuentra el estado del arte donde se centra toda la investigación para la realización del proyecto.

El capítulo cinco contiene algunos trabajos relacionados con el mismo tema e incluso muestra trabajos similares que se han realizado en otros países. El proceso completo se encuentra detallado del capítulo seis al capítulo nueve. Finalmente, en el capítulo diez se encuentran las conclusiones del trabajo de grado.

2. DESCRIPCIÓN GENERAL

2.1 Oportunidad y problemática

La biorealimentación o biofeedback (BF), se refiere a cualquier técnica que hace uso de instrumentos para darle al paciente en cada momento información acerca del proceso fisiológico que está bajo el control del sistema nervioso autónomo, pero no percibido de una forma clara y precisa. En BF se hace tratamiento al paciente donde este trabaja activamente hacia una meta para restablecer su salud, de una manera opuesta a la medicina ortodoxa donde este trabaja aceptando órdenes más pasivamente [1]. BF ha sido usado para regular la tensión muscular, la temperatura de la piel, el sistema nervioso empático a través de la actividad de las glándulas sudoríparas, respiración, presión de dióxido de carbono exhalada, actividad cardiaca, presión sanguínea, flujo sanguíneo en el cuerpo y el flujo sanguíneo en el cerebro. Una forma específica del BF es el neurofeedback (NF), más formalmente llamado biorealimentación electroencefalográfica (EEG), el cual regula la actividad eléctrica del cerebro [2] [3].

A finales de los setenta, investigadores descubrieron que era posible volver a condicionar, entrenar y aprender diferentes patrones de ondas cerebrales. Algunos trabajos de estos fueron para incrementar la relajación de la persona, incrementando la actividad de las ondas cerebrales Alfa, mientras que otros estaban más enfocados en la epilepsia no controlada. Las ondas cerebrales ocurren en varias frecuencias, algunas son más rápidas y otras son más lentas. Los nombres clásicos de estas bandas de EEG son: Delta, Theta, Alfa y Beta donde cada una de estas es medida en ciclos por segundo o Hertz (Hz) [3]. Las ondas cerebrales Beta son pequeñas, son ondas cerebrales más rápidas que sobrepasan los 13 Hz y están asociadas a un estado mental, actividad intelectual o a una concentración enfocada externa, básicamente un estado de alerta. Las ondas cerebrales Alfa que oscilan entre los 8 y 12 Hz, son más lentas y largas. Estas están asociadas a un estado de relajación esperando a responder cuando sea necesario. Las ondas Theta que oscilan entre los 4 y 8 Hz, generalmente representan un estado como de sueño, un estado en el que la mente es realmente ineficiente. Al ser los niveles más bajos, la actividad de las ondas cerebrales representa un estado máximo de relajación, la zona del crepúsculo entre estar dormido y entre estar despierto. Las ondas Delta que oscilan entre 0.5 y 3.5 Hz son las más lentas, tienen mayor amplitud (magnitud) y son las que representan lo que se experimenta cuando se está dormido. En general, los diferentes niveles de conciencia están asociados a los estados de ondas cerebrales dominantes [3].

Cuando las personas tienden a tener ondas cerebrales muy lentas, usualmente ondas Theta y a veces exceso de ondas Alfa, son personas que sufren normalmente de enfermedades como trastorno por déficit de atención con hiperactividad (TDAH), lesiones craneales, epilepsia y síndrome de fatiga crónica. Esto ocasiona que sea más difícil el controlar la atención, el comportamiento y/o las emociones. Estas personas normalmente tienen problemas de concentración de memoria, de controlar sus impulsos y sus estados de ánimo. Existe un entrenamiento para mejorar y modificar las ondas cerebrales para auto-regularlas. El entrenamiento de NF es el BF de ondas cerebrales. Este entrenamiento consta de electrodos sobre la cabeza del paciente, puestos estratégicamente para analizar y mostrar en tiempo real la actividad cerebral del paciente. Cuando este puede ver su actividad cerebral, puede lograr una modificación de las mismas mediante el entrenamiento [3] [4].

El entrenamiento de NF está relacionado con la interfaz cerebro computador (ICC), la cual se ha usado en varias investigaciones para el tratamiento de personas con discapacidades motoras severas como la esclerosis lateral amiotrófica (ELA), ictus de tronco cerebral, lesión del cerebro o médula espinal, parálisis cerebral, distrofias musculares, esclerosis múltiple entre otras. Estas pueden quebrantar los canales neuromusculares quienes se comunican con el cerebro y controlan el ambiente externo [5] [6]. Esta tecnología consiste en proveer al cerebro una nueva forma de comunicación y control con el mundo externo por medio de mensajes y comandos [5] [7]. Ambas técnicas están alineadas para cumplir un mismo objetivo y usan las mismas técnicas de interacción humano computador (IHC). Diversos métodos para realizar monitoreo de la actividad cerebral de una persona sirven como ICC, tales como la electroencefalografía (EEG) que se caracteriza por ser un método no invasivo. Hay métodos electrofisiológicos más invasivos como la magnetoencefalografía (MEG), tomografía para la emisión de positrones (TEP), imágenes por resonancia magnética funcional (IRMf) y las imágenes ópticas entre otras [5].

NF se está usando actualmente para realizar tratamientos psicológicos como alternativa a procesos farmacológicos y terapias tradicionales donde este ha sugerido resultados positivos mediante el entrenamiento de NF [3]. Existen varios ejemplos de tratamientos que se han investigado y en los cuales se ha logrado tener éxito. Las enfermedades más comunes y más investigadas son las que se muestran a continuación de acuerdo a la investigación y a los resultados positivos obtenidos que muestra la efectividad del entrenamiento con NF; tales como la mejora de las funciones cognitivas para niños con trastornos de déficit de atención e hiperactividad (TDAH), donde muestra resultados positivos sobre el aprendizaje de auto-regulación de la actividad cerebral de cada sujeto [8] [9] [10], y no solo tratamiento en niños sino también en personas adultas [2] y también haciendo comparaciones con procedimientos farmacológicos [11]. Una de las investigaciones para el tratamiento de depresión y ansiedad basada en entrenamiento con NF expone los resultados positivos que este tratamiento hace [12] [13], incluso algunas investigaciones y desarrollo basan el entrenamiento de

NF para incrementar los niveles de atención en las personas haciendo uso de los videojuegos [14]. Estos juegos que involucran el mejoramiento de habilidades mentales y personales, y que usualmente tienen como objetivo temas educacionales y temas de salud, además del entretenimiento, se conocen como juegos serios [15] [16].

2.2 Pregunta de Investigación

De acuerdo con este contexto dado, surge la siguiente pregunta de investigación para el desarrollo del trabajo de grado: ¿Cómo un prototipo de videojuego puede mejorar los niveles de atención mediante el uso de ICC en la fase de biorrealimentación?

3. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

3.1 Objetivo general

Desarrollar un prototipo de videojuego que permita aumentar el porcentaje de eficacia en los niveles de atención, memoria de trabajo y planeación de personas sin patologías diagnosticadas.

3.2 Objetivos específicos

Caracterizar los tratamientos tradicionales de personas con déficit de atención e identificar criterios de evaluación y visualización.

Diseñar un prototipo de videojuego para la intervención del proceso del tratamiento en la fase de biorrealimentación.

Implementar el prototipo de videojuego con técnicas de Interfaz Cerebro Computador y procesamiento de señales.

Validar el prototipo mediante la experimentación con un grupo control.

3.3 Fases de desarrollo



Para el desarrollo del prototipo de videojuego se trabajaron dos tipos de metodologías: investigación cualitativa y metodología de prototipos incremental. En el trabajo para la recolección de información se requiere de la interacción continua con expertos en psicología de la Pontificia Universidad Javeriana (PUJ), para poder entender los procesos sobre las personas mediante entrevistas, documentos y observaciones directas [17].

Para la segunda parte se trabajó la metodología de prototipos incremental donde por medio de desarrollos de prototipos incrementales. Se desarrolló el prototipo de video-

juego de acuerdo con la investigación obtenida en la primera parte. En la última fase, al realizar la validación del prototipo, se implementó bajo la herramienta PEBL (The Psychology Experiment Building Language) [18] que fue sugerida para las validaciones por expertos de psicología de la PUJ.

El desarrollo del prototipo de videojuego se dividió en cuatro fases principales consecutivas, que se encuentran enmarcadas y relacionadas con los objetivos específicos para una coherencia metodológica:

- Caracterización e identificación.
- Diseño del prototipo de videojuego.
- Implementación del prototipo.
- Validación del prototipo.

3.4 Caracterización e identificación

En esta fase del trabajo de grado se realizaron las entrevistas con profesores expertos del departamento de psicología de la PUJ para obtener una orientación del proceso que se realiza actualmente sobre las personas con TDAH. En las entrevistas se investigaron las terapias que ellos realizan para el tratamiento de TDAH, generando así un documento final que formaliza las estrategias y metodologías implementadas en estos procesos. Para poder realizar esa interacción de observador sobre el proceso que se hace en los laboratorios de psicología de la PUJ, se realizó un acompañamiento en algunas intervenciones que se tuvieron con los pacientes, con el fin de formalizar una bitácora de experiencia por observación. Las visitas al laboratorio de psicología también sirvieron para realizar análisis del dispositivo de biorrealimentación que se encuentra en funcionamiento actualmente. Durante el acompañamiento se pidieron explicaciones de los criterios que se tienen para realizar las visualizaciones sobre el paciente y la interacción que tiene éste, tanto con el dispositivo como con el terapeuta experto.

3.5 Diseño del prototipo de videojuego

En esta fase del trabajo de grado se realizó la parte inicial de lo que se requería para diseñar un prototipo de software. Todo el levantamiento de requerimientos estuvo en constantemente validación por expertos de psicología y por el director de trabajo de grado. Se elaboró un documento con los requerimientos más relevantes para los psicólogos, los cuales se formalizaron como un documento de requerimientos específicos debidamente priorizados. Una vez se tuvo el documento con los requerimientos específicos priorizados, se procedió a una entrevista con los psicólogos para realizar una validación y aceptación de los mismos.

Dado que ya se ha investigado el funcionamiento del dispositivo de biorrealimentación del laboratorio de psicología en la fase de caracterización e identificación, se realizó un análisis para seleccionar la tecnología más apropiada de acuerdo a los conocimientos del autor de la propuesta y de acuerdo a la necesidad del prototipo de videojuego. Sin embargo, la realización de VIA no se logró hacer con el dispositivo de la Universidad por disponibilidad de sala y de profesores, por lo tanto, se realizó con un dispositivo EMOTIV para la obtención de los datos EEG y así poder obtener el valor de atención.

3.6 Implementación del prototipo

En esta fase del trabajo de grado se realizó la implementación de prototipos incrementales para la continua revisión por parte de los psicólogos expertos hasta llegar a la versión final de VIA. Para la implementación de cada prototipo presentado en las entrevistas con los psicólogos, se tuvieron en cuenta los requerimientos priorizados en objetivos cortos con el fin de avanzar con bases de código validadas.

Para la implementación del prototipo de videojuego se hizo uso de Unity3D para cumplir las necesidades del usuario y para facilidad de conexión con el dispositivo de EMOTIV mediante una biblioteca de enlace dinámica desarrollada en C++ que permitió la conexión en tiempo real con el videojuego mientras se obtenía los datos de atención.

3.7 Validación del prototipo

En esta fase del trabajo de grado, una vez terminada la implementación del prototipo de videojuego, se procedió a la validación de acuerdo con experimentos sobre un grupo control establecido por 6 personas mayores de edad. El grupo control constó de un equipo de personas el cual fue intervenido con el videojuego. Al finalizar los procedimientos con el grupo control, se realizaron las pruebas con la herramienta PEBL, la cual permitió realizar un análisis cuantitativo para poder realizar una comparación de resultados antes y después de jugar VIA. PEBL es un sistema multi-plataforma libre para el diseño y ejecución de experimentos y pruebas basadas en computador [18]. Esta herramienta provee 50 diferentes pruebas ya estandarizadas que son las más comunes para las pruebas psicológicas incluyendo las pruebas TOAV (Test of Attentional Vigilance, Prueba de Vigilancia de Atención) que realiza pruebas de variables de atención y ANT (Attentional Network Test, Prueba de Red de Atención) que se encarga de evaluar tres clases de procesos de atención [18] las cuales sólo fueron usadas las pruebas de TOAV. Estas pruebas se deben realizar antes de comenzar el procedimiento y al terminar el procedimiento. Las pruebas sobre PEBL fueron únicamente pruebas para el análisis de resultados que se obtienen en archivos de texto bajo la aplicación interactiva que realiza la persona y que provee PEBL. Los resultados fueron evaluados, permitiendo identificar la efectividad del prototipo de videojuego.

4. MARCO TEÓRICO / ESTADO DEL ARTE

4.1 Introducción

La biorrealimentación o biofeedback (BF), se refiere a cualquier técnica que hace uso de instrumentos para darle al paciente en cada momento información acerca del proceso fisiológico que está bajo el control del sistema nervioso autónomo, pero no percibido de una forma clara y precisa. En BF se hace tratamiento al paciente donde éste trabaja activamente hacia una meta para restablecer su salud, de una manera opuesta a la medicina ortodoxa donde éste trabaja aceptando órdenes más pasivamente [1]. BF ha sido usado para regular la tensión muscular, la temperatura de la piel, el sistema nervioso empático a través de la actividad de las glándulas sudoríparas, respiración, presión de dióxido de carbono exhalada, actividad cardíaca, presión sanguínea, flujo sanguíneo en el cuerpo y el flujo sanguíneo en el cerebro. Una forma específica del BF es el neurofeedback (NF), más formalmente llamado biorrealimentación electroencefalográfica (EEG), el cual regula la actividad eléctrica del cerebro [2] [3].

A finales de los setenta, investigadores descubrieron que era posible volver a condicionar, entrenar y aprender diferentes patrones de ondas cerebrales. Algunos trabajos de éstos fueron para incrementar la relajación de la persona, incrementando la actividad de las ondas cerebrales alfa, mientras que otros estaban más enfocados en la epilepsia no controlada. Las ondas cerebrales ocurren en varias frecuencias, algunas son más rápidas y otras son más lentas. Los nombres clásicos de estas bandas de EEG son: delta, teta, alfa y beta donde cada una de estas es medida en ciclos por segundo o hertz (Hz) [3].

Las ondas cerebrales beta son pequeñas, son ondas cerebrales más rápidas que sobrepasan los 13 Hz y están asociadas a un estado mental, actividad intelectual o a una concentración enfocada externa, básicamente un estado de alerta. Las ondas cerebrales alfa que oscilan entre los 8 y 12 Hz, son más lentas y largas. Estas están asociadas a un estado de relajación esperando a responder cuando sea necesario. Las ondas *theta* que oscilan entre los 4 y 8 Hz, generalmente representan un estado como de sueño, un estado en el que la mente es realmente ineficiente. Al ser los niveles más bajos, la actividad de las ondas cerebrales representa un estado máximo de relajación, la zona del crepúsculo entre estar dormido y entre estar despierto. Las ondas delta que oscilan entre 0.5 y 3.5 Hz son las más lentas, tienen mayor amplitud (magnitud) y son las que representan lo que se experimenta cuando se está dormido. En general, los diferentes niveles de conciencia están asociados a los estados de ondas cerebrales dominantes [3].

Cuando las personas tienden a tener ondas cerebrales muy lentas, usualmente ondas *theta* y a veces exceso de ondas *alpha*, son personas que sufren normalmente de en-

fermedades como trastorno por déficit de atención con hiperactividad (TDAH), lesiones craneales, epilepsia y síndrome de fatiga crónica. Esto ocasiona que sea más difícil el controlar la atención, el comportamiento y/o las emociones. Estas personas normalmente tienen problemas de concentración de memoria, de controlar sus impulsos y sus estados de ánimo. Existe un entrenamiento para mejorar y modificar las ondas cerebrales para auto-regularlas. El entrenamiento de NF es el BF de ondas cerebrales. Este entrenamiento consta de electrodos sobre la cabeza del paciente puestos estratégicamente para analizar y mostrar en tiempo real la actividad cerebral del paciente. Cuando este puede ver su actividad cerebral, puede lograr una modificación de las mismas mediante el entrenamiento [3].

El entrenamiento de NF está relacionado con la interfaz cerebro computador (ICC), la cual se ha usado en varias investigaciones para el tratamiento de personas con discapacidades motoras severas como la esclerosis lateral amiotrófica (ELA), ictus de tronco cerebral, lesión del cerebro o médula espinal, parálisis cerebral, distrofias musculares, esclerosis múltiple entre otras. Estas pueden quebrantar los canales neuromusculares quienes se comunican con el cerebro y controlan el ambiente externo [5] [6]. Esta tecnología consiste en proveer al cerebro una nueva forma de comunicación y control con el mundo externo por medio de mensajes y comandos [5] [7]. Ambas técnicas están alineadas para cumplir un mismo objetivo y usan las mismas técnicas de interacción humano computador (IHC). Diversos métodos para realizar monitoreo de la actividad cerebral de una persona sirven como ICC, tales como la electroencefalografía (EEG) que se caracteriza por ser un método no invasivo. Hay métodos electrofisiológicos más invasivos como la magnetoencefalografía (MEG), tomografía para la emisión de positrones (TEP), imágenes por resonancia magnética funcional (IRMf) y las imágenes ópticas entre otras [5].

4.2 Biorrealimentación electroencefalográfica como terapia psicológica para la autorregulación y control de estímulos

NF se está usando actualmente para realizar tratamientos psicológicos como alternativa a procesos farmacológicos y terapias tradicionales donde éste ha sugerido resultados positivos mediante el entrenamiento de NF [3]. Existen varios ejemplos de tratamientos que se han investigado y en los cuales se ha logrado tener éxito. Las enfermedades más comunes y más investigadas son las que se muestran a continuación de acuerdo a la investigación y a los resultados positivos obtenidos que muestra la efectividad del entrenamiento con NF; tales como la mejora de las funciones cognitivas para niños con trastornos de déficit de atención e hiperactividad (TDAH), donde muestra resultados positivos sobre el aprendizaje de auto-regulación de la actividad cerebral de cada sujeto [8] [9] [10], y no sólo tratamiento en niños sino también en personas adultas [2] y también haciendo comparaciones con procedimientos farmacológicos [11]. Una de las investigaciones para el tratamiento de depresión y ansiedad

basada en entrenamiento con NF expone los resultados positivos que este tratamiento hace [12] [13], incluso algunas investigaciones y desarrollo basan el entrenamiento de NF para incrementar los niveles de atención en las personas haciendo uso de los videojuegos [14].

4.2.1 Entrenamiento de *Neurofeedback*

El entrenamiento del NF es el BF de las ondas cerebrales el cual consiste en poner un par de electrodos en el cuero cabelludo de una persona y uno o dos electrodos en los lóbulos de las orejas. Una vez conectada la persona, el equipo electrónico de alta tecnología provee retroalimentación auditiva y visual de la actividad cerebral instantáneamente en tiempo real. Los electrodos miden los patrones eléctricos que provienen del cerebro tal cual los médicos oyen un corazón desde la superficie de la piel. En el entrenamiento no se le induce al paciente ninguna clase de corriente eléctrica en el cerebro. La actividad del cerebro es retransmitida al computador y grabada en el mismo. Comúnmente, una persona no puede influenciar de forma fiable sus patrones de ondas cerebrales porque simplemente no son conscientes de ellas. Dentro del entrenamiento y las explicaciones anteriores, se puede decir que cuando una persona ve sus ondas cerebrales en una pantalla del computador algunos miles de segundos antes de que estos ocurran, ésta adquiere la habilidad de influenciarlas y modificarlas. El mecanismo de acción es de condicionamiento operante. Literalmente se está re acondicionando y reentrenando el cerebro. Al principio los cambios son de corta duración, sin embargo, éstos se vuelven más duraderos gradualmente con el tiempo y con una retroalimentación continua, entrenamiento y práctica. Los patrones de ondas cerebrales saludables usualmente pueden ser reentrenados en la mayoría de las personas, es como hacer ejercicios o terapias físicas con el cerebro, mejorando así, el control y la flexibilidad cognitiva. De esta manera, si una persona sufre de algún problema que se deriva de trastornos por déficit de atención e hiperactividad, problemas de aprendizaje, un golpe, lesión del cráneo, epilepsia no controlada y/o alguna deficiencia cognitiva asociada con la edad, depresión, ansiedad, desórdenes obsesivo compulsivos, o alguna otra condición relacionada con el cerebro, el entrenamiento de NF ofrece alternativas adicionales para la rehabilitación a través de un re-entrenamiento directo de los patrones de la actividad eléctrica cerebral [3] [4] [8] e incluso haciendo uso de técnicas de ICC integrando con el NF [15] [16].

El entrenamiento de NF no se debe tomar a la ligera, pues no basta con saber manejar el equipo de NF y su software, sino que también es muy importante saber de cómo funciona el cerebro, tener un conocimiento avanzado sobre el mismo, pues esto podría traer efectos no esperados después de un entrenamiento mal ejecutado. Es por esto que se recomienda tener un asesoramiento de un especialista quien sería encargado de hacer preguntas sobre la historia clínica de cada paciente de forma individual, ya que los patrones de cada persona son diferentes. Pero no sólo se debe hacer una entrevista inicial, sino que también se recomienda hacer pruebas neurofisiológicas o fisiológicas. Algunos médicos evalúan los patrones de las ondas cerebrales poniendo

un número mínimo de electrodos en el cuero cabelludo del paciente, mientras que otros, realizan pruebas haciendo uso de un mapa cerebral de electroencefalogramas cuantitativos (EEGC), en el que se ponen 19 o más electrodos en el cuero cabelludo del paciente. Esta herramienta ofrece la oportunidad de evaluar científicamente la función de las ondas cerebrales de una persona. Se ha comprobado que los tratamientos tradicionales de TDAH con fármacos, después de tres meses de uso en niños, el cien por ciento de los pacientes incrementan un riesgo de cáncer al experimentar aberraciones en los cromosomas. Es por esto que NF es una alternativa no invasiva que promete en el futuro mejores resultados sin efectos secundarios. Existen otras técnicas de NF, tal vez un poco más invasivas, como el sistema de *neurofeedback* de baja energía (SNBE) o (LENS) por sus siglas en inglés. Esta técnica consiste en introducir una pequeña señal electromagnética en el paciente, la cual genera la intensidad de la salida de una batería de reloj, la cual está diseñada para ayudar de una forma suave al cerebro para que éste sea más flexible y auto regulable, reduciendo la excesiva amplitud y la variabilidad de las ondas cerebrales [3].

4.2.2 Intervenciones tradicionales

En esta sección se describen las intervenciones convencionales y actuales que se usan para el tratamiento de personas con TDAH haciendo uso de fármacos. Se listan los fármacos y las características que éstos tienen como efectos secundarios, cognitivos y comportamentales, eficacia y proceso del paciente. Se enfatiza el tratamiento de TDAH, ya que en la literatura se muestra como uno de los temas más investigados por lo cual tiene mucha relevancia a la hora de hacer comparaciones de tratamientos psicológicos sin el uso de fármacos y con el uso de fármacos. Además, ayuda a la hipótesis de que un tratamiento no invasivo como el NF es una buena alternativa para tratar dichos problemas. Inicialmente se tiene como objetivo hacer una revisión general de los tratamientos más comunes que se realizan para personas con trastorno por déficit de atención e hiperactividad (TDAH). Este acercamiento a las técnicas tradicionales más usadas está orientado a la búsqueda y a la necesidad de encontrar nuevos métodos y/ técnicas para realizar el mismo procedimiento, pero con mejores resultados. El presente documento expone los diferentes tratamientos más comunes y usados en secciones separadas; La sección de tratamientos a partir de los cuales los pacientes son estimulados con medicamentos, la sección de tratamientos en los cuales el paciente es tratado mediante actividades no invasivas como terapias con los psicólogos y la sección de tecnología. Como este documento hace parte de la base del trabajo de grado de Maestría en Ingeniería de Sistemas y Computación, evidencia que la acción de múltiples técnicas integradas puede proveer mejores resultados a los pacientes. En este caso se muestra que la intervención de tratamientos farmacológicos y tratamientos no farmacológicos de forma integrada, se enfocan de una manera multimodal para dar mejores resultados [17] [18]. Con esta premisa se podría decir que la integración de los tratamientos no farmacológicos con los tratamientos basados en la tecnología (no invasivos) resultarían de manera exitosa también.

4.2.3 Intervenciones farmacológicas en atención

En esta sección se muestran los tratamientos más usados con los que usan medicamentos para tratar a las personas con TDAH. Este tratamiento es actualmente el más usado, sin embargo, se han hecho estudios donde muestra que, combinado con otras técnicas, el resultado mejora en gran medida. Se debe aclarar que los tratamientos farmacológicos están sujetos a un análisis individual de cada paciente y exigen un constante acompañamiento del médico para que suministre las dosis adecuadas de acuerdo a las características que presente cada paciente [19].

El medicamento metilfenidato está denominado como un psicoestimulante. Esto quiere decir que dichos estimulantes aumentan la disponibilidad de noradrenalina y dopamina en el espacio intersináptico. El metilfenidato actúa inhibiendo la recaptación de dopamina y parece actuar sobre la corteza prefrontal, la cual está relacionada con los síntomas de atención, mientras que, para tratar el tema de hiperactividad, son necesarias dosis más altas [19].

El medicamento atomoxetina es el primer medicamento que, a diferencia del metilfenidato, no es un psicoestimulante y está aprobado para realizar tratamientos de personas con TDAH. No está enfocado únicamente en niños, sino también está aprobado para el tratamiento de adolescentes y personas adultas. La atomoxetina es un inhibidor selectivo de la recaptación de la noradrenalina con la ventaja de presentar un efecto continuo en el tiempo, a diferencia de los psicoestimulantes, como el metilfenidato [19].

4.2.4 Intervenciones no farmacológicas en atención

Al igual que los tratamientos farmacológicos, las intervenciones psicológicas las cuales no usan fármacos para el tratamiento de TDAH, también es necesario un cuadro clínico inicial y un empoderamiento del estado inicial del tratamiento, del médico que tratará al paciente. El tratamiento no farmacológico se recomienda más que todo cuando los síntomas de TDAH son leves y no está tan avanzado, si su diagnóstico está incompleto o el caso es parcial, que significa que no cumple con todos los criterios necesarios para ser diagnosticado con TDAH, incluso cuando los padres del paciente no aprueban la medicación. Este tratamiento se recomienda como un tratamiento inicial y en solitario con el paciente [19]. Para las intervenciones no farmacológicas existen varias técnicas que pueden emplearse como opciones alternativas que se muestran a continuación.

4.2.5 Psicoterapia

La psicoterapia, aunque no es un tratamiento que indique altos resultados positivos con pacientes que tienen TDAH, sirve como punto específico de interferencia en los procesos para los síntomas asociados a los trastornos comórbidos. Este tratamiento suele usarse de forma intensiva cuando los casos de TDAH no se han detectado a

tiempo y ésta ha avanzado, aumentando los refuerzos del entorno implicando un fortalecimiento de la autoestima, la capacidad de autocontrol y la visión positiva del medio del paciente [19]. Escuelas como la psicoanalítica, la gestált y la sistémica, pretenden, a través de la psicoterapia, organizar la vida emocional del niño y de la familia, de tal forma que puedan superar los conflictos emocionales que los problemas de atención y conducta le ocasionan en la escuela, la familia y en sus relaciones sociales [20].

Recientes investigaciones en el tratamiento de TDAH para personas adultas recomiendan tratamientos varios tratamientos psicoterapéuticos. Estos tratamientos no estaban estandarizados sino hasta finales de los noventa cuando bajo ensayos controlados publicaron la eficacia de dichos tratamientos. Hubo recomendaciones generales basadas principalmente en terapias conductuales que consistían en elementos psicoeducacionales y el apoyo a los pacientes durante todos los días a través del mejoramiento de las habilidades sociales y organizacionales. Además, hubo una creciente evidencia de posibles efectos positivos respecto a las terapias grupales y grupos de auto ayuda. Durante la última década la eficacia de las intervenciones psicoterapéuticas en TDAH en adultos incrementó los campos de investigación científica para este propósito [21].

4.2.5.1 Tratamiento conductual

La terapia de conducta tiene como objetivo modificar el comportamiento de los niños y de los adultos por medio de asociaciones adecuadas, justificándose bajo el enfoque de las acciones que realizan las personas en el día a día en función de las consecuencias que reciben. Básicamente es aprender a conocer las consecuencias de lo que hacemos para así poder actuar de mejor manera en el futuro. Los pacientes que son expuestos a este tratamiento normalmente mejoran en aspectos como el aumento de atención, rendimiento académico, autocontrol de la actividad motora excesiva y la interacción social. Los padres y educadores también pueden ser entrenados en estas técnicas y también muestran aspectos positivos en cuanto a la relación con los niños. Para este tratamiento existen diferentes técnicas que se implementan denominadas técnicas operantes [19]. A continuación, se describen las técnicas. El tratamiento psicológico cognitivo-conductual del TDAH está orientado a la disminución de los síntomas y al impacto emocional de éstos [20] [21].

4.2.5.2 Tratamiento cognitivo

El tratamiento cognitivo tiene como objetivo centrar la atención en trabajar con los procesos cognitivos y los procesos mentales que regulan la conducta para ayudar al niño a ser autónomo e incrementar su autocontrol. El lenguaje interno es necesario para poder regular la propia conducta, factor muy importante en el tratamiento de niños con TDAH. A diferencia de las técnicas conductuales en las que el control lo ejerce el adulto, aquí el control lo ejerce el niño [19] [21].

Para el tratamiento cognitivo se deben tener en cuenta los siguientes aspectos y/o técnicas que usualmente se usan como lo son las auto-instrucciones, el entrenamiento en auto-control, la solución de problemas, la orientación general y el reconocimiento de problemas, la definición, formulación y análisis del problema, la búsqueda de posibles soluciones y la generación de alternativas, la toma de decisiones, la elaboración de planes precisos de acción, y llevar a cabo la solución elegida y evaluar los resultados [19].

4.2.5.3 Técnicas para reducir o eliminar los comportamientos no deseados

Las Técnicas para reducir o eliminar los comportamientos no deseados consisten en entregar consecuencias negativas a conductas que se creen como conductas disfuncionales [19].

4.2.5.4 Técnicas combinadas

Las técnicas combinadas consisten en dos actividades principales: El programa de economía de fichas y los contratos de contingencias. El programa de economía de fichas tiene como objetivo entregarle al paciente unas fichas por la buena conducta que pueden ser intercambiables por premios o refuerzos y los contratos de contingencias tienen como objetivo establecer acuerdos entre terceros y paciente mediante un papel firmado por ambos lados haciendo que el paciente tenga un papel activo y se haga responsable de su conducta personal [19].

4.2.5.5 Estimulación cognitiva

La estimulación cognitiva tiene como objetivo aplicar procedimientos y técnicas y la utilización de apoyos para que las personas con un déficit en alguna o varias de las funciones cognitivas puedan adquirir un nivel óptimo del desempeño de éstas. Antes la estimulación cognitiva se hacía con ejercicios de papel y lápiz, ahora, se realiza con soporte informático, para lo que se requiere el uso de una o más habilidades mentales. Para el tratamiento de personas con TDAH, esta técnica abre una puerta al tratamiento complementario para habilitar las funciones defectuosas presentes, que pueden consolidar los efectos a corto plazo obtenidos con otras técnicas [19]. Es por ello, que la estimulación de la atención en todas sus facetas es muy importante para poder realizar una clara estimulación cognitiva [22].

4.3 Realidad virtual para neurofeedback

En esta sección se muestran los temas investigados donde la realidad virtual actúa como interventor en el proceso de *neurofeedback* para procesos psicológicos en la etapa del *neurofeedback*. Inicialmente los sistemas de realidad virtual varían ampliamente y lo hacen típicamente dependiendo de sus tareas o propósitos. Las técnicas y las consideraciones de diseño generalmente mejoran para hacer mejores aplicaciones terapéuticas. El desempeño en tiempo real de las aplicaciones es esencial para la sen-

sación de control y para la prevención o minimización de enfermedades de un simulador. Esto cuesta más o menos un bit, computacionalmente hablando, para reproducir y desplegar en la pantalla una escena detallada en tiempo real, especialmente si se quiere representar una vista estereoscópica para mejorar los efectos 3D. Más allá de esta necesidad, la mayoría de los cascos de realidad virtual presentan imágenes pequeñas y no soportan una buena resolución. Algunos sistemas de realidad virtual proveen dispositivos físicos que complementan las imágenes provisionadas en los cascos, generando así un nivel más alto de inmersión y percepción del mundo virtual. La realidad virtual claramente empezó a hacerse camino en el campo de salud mental [23] y ha tenido varios avances en los tratamientos de fobias como el de las fobias a las arañas [24] [25], las fobias a la sociedad [26] [27], fobia a volar [28], incluso en tratamientos de ansiedad [29] [30] entre otros.

Las prácticas para el mejoramiento de atención y la estabilización de la mente se han hecho presente para mejorar varios aspectos relacionados con la salud, como los que sufren de depresión o están en un estado crítico de dolor y sufrimiento. Además, reduce los niveles de estrés y fortalece la relajación lo cual hace que mejore el estilo de vida de una persona. En el 2014 se desarrolló un juego con técnicas de realidad virtual e integraron las técnicas de EEG por medio de un casco de Emotiv, en el cual representaron un ambiente para meditación y éste actúa de acuerdo a las señales que va obteniendo del Emotiv [31]. Esto quiere decir que, si con la realidad virtual es posible generar aplicaciones con dispositivos como Emotiv para estimular y enseñar a reentrenar el cerebro de una persona, la integración de técnicas de ICC con técnicas de BF teniendo como medio un videojuego es una opción válida para nuevas investigaciones.

4.4 Juegos serios

En esta sección se muestra la relevancia que tienen los juegos con respecto a los tratamientos médicos y cómo hacen parte para mejorar los resultados de forma más entretenida dando como resultado una alternativa diferente a los pacientes que son tratados. Los juegos serios son usualmente usados para propósitos educacionales y médicos [32].

Hoy en día los "juegos serios" son un negocio realmente valorado y serio según afirma Ben Sawyer, co-fundador de la iniciativa de los juegos serios. Los juegos serios pueden aplicarse a una gran variedad de áreas por ejemplo áreas tales como las militares, gubernamentales, educacionales, corporativas, y médicas tal cual se menciona anteriormente. Existen varias definiciones para este concepto, sin embargo, la mayoría de la literatura coincide en que los juegos serios son juegos digitales con un propósito diferente a lo meramente entretenimiento. Existen argumentos para decir que el efecto positivo y los buenos resultados sobre su aplicación, tienen un impacto posi-

vo en el desarrollo de una gran cantidad de diferentes habilidades en los jugadores. Cabe aclarar que no todos los juegos sirven para todos los propósitos [32].

Existen varios experimentos investigaciones que usan los videojuegos serios con el propósito de mejorar las capacidades mentales a través de tecnología basada en electroencefalografía. Uno de los ejemplos está basado en un videojuego 2D y 3D que ayuda a aumentar y fortalecer la concentración de las personas [33], otro en mejorar las prácticas de meditación en un ambiente virtual [31], tratar enfermedades mentales como la ansiedad [34], déficit de atención e hiperactividad [11] [35], trastornos de autismo [36] [37] [38] entre muchas otras.

4.5 Interfaz cerebro computador (ICC) para neurofeedback (Técnicas de BCI, Dispositivos)

La interfaz cerebro computador (ICC) se ha usado en varias investigaciones para el tratamiento de personas con discapacidades motoras severas como la esclerosis lateral amiotrófica (ELA), ictus de tronco cerebral, lesión del cerebro o médula espinal, parálisis cerebral, distrofias musculares, esclerosis múltiple entre otras. Estas pueden quebrantar los canales neuromusculares quienes se comunican con el cerebro y controlan el ambiente externo [5] [6]. Varios estudios han evaluado la posibilidad de que las señales cerebrales que son grabadas del cuero cabelludo o de adentro del cerebro pueden generar tecnología aumentativa que no necesita de control muscular. Estos sistemas de ICC miden características específicas de la actividad cerebral y las traducen a señales de control de dispositivos (ver Figura 1) la cual representa un sistema general de ICC donde muestra que las señales del cerebro son adquiridas por electrodos en el cuero cabelludo como se explicaba anteriormente y éstas son procesadas para extraer características de señales específicas que reflejan las intenciones del usuario. Estas características son traducidas a comandos que operan algún dispositivo. Dichos estudios muestran que las personas que carecen de algún músculo de gran utilidad, un sistema de ICC puede proveer la habilidad de responder rápidamente preguntas simples, controlar el entorno, hacer uso de un procesador de palabras lento, incluso manejar una neuroprótesis [6]. De acuerdo a la falta de métodos para solventar estas problemáticas existen varias opciones para restaurar dichas deficiencias motoras, ICC es una de ellas [7]. Esta tecnología consiste en proveer al cerebro una nueva forma de comunicación y control con el mundo externo por medio de mensajes y comandos [5] [7]. Diversos métodos para realizar monitoreo de la actividad cerebral de una persona sirven como ICC, tales como la electroencefalografía (EEG) que se caracteriza por ser un método no invasivo [5]. Hay métodos electrofisiológicos más invasivos como la magnetoencefalografía (MEG), tomografía para la emisión de positrones (TEP), imágenes por resonancia magnética funcional (IRMf) y las imágenes ópticas. Estos métodos más invasivos pueden llegar a ser muy costosos y técnicamente fuertemente demandantes para su aplicación; TEP, IRMf y las imágenes ópticas dependen del flujo sanguíneo y tienen constantes a largo plazo, esto hace que la comunicación no sea tan rápida como se desea, por lo tanto, EEG se ha considerado un método que por su tecnología más accesible económicamente hablando, constantes a corto plazo y funcionalidad en varios ambientes, ofrece la posibilidad de una nueva forma de comunicación y control no muscular como método práctico de ICC [5].

A continuación, se muestran las diferentes tendencias actuales para *Software*. Se proveen las herramientas públicas y accesibles que se han identificado como las mejores plataformas para ICC [39] [40]:

➤ **BCI2000**

BCI200 es una plataforma de *Software* de propósito general para investigación en ICC. Esta plataforma también puede ser usada para una amplia variedad de adquisición de datos, presentación de estímulos y aplicaciones de monitoreo cerebrales. Sus principales características como el soporte de *Hardware* para diferentes adquisiciones de datos, procesamiento de señales y paradigmas experimentales. Provee una documentación clara para desarrolladores y para investigadores. La instalación es accesible en línea y viene con tutoriales para ambos roles. Está implementado en C++, lo cual hace que haga un excelente y eficiente uso de sus recursos. Permite escribir código de procesamiento de señales en línea en MATLAB y contiene una capa completa para compatibilidad con *Python*. Para la compilación del código permite hacerlo con el *framework* Visual Studio, incluyendo la versión express y Borland C++ haciéndolo una herramienta multiplataforma. Aunque por lo general es desplegado en máquinas de Microsoft Windows.

➤ **OpenViBE**

OpenViBE es una plataforma de *Software* de código fuente abierta y libre, para diseñar, probar, y usar ICC. Esta plataforma consiste en un conjunto de módulos de *Software* que pueden ser fácilmente integrados para implementar un sistema funcional de ICC. OpenViBE también está bajo la licencia de GNU tal cual BCI2000 y está oficialmente abierto para plataformas de Microsoft Windows (XP, 7) y Linux (Ubuntu, Fedora). Esta plataforma está diseñada para diferentes tipos de usuarios, incluyendo desarrolladores, investigadores y médicos, depende de su nivel de programación y de su conocimiento en fisiología cerebral.

➤ **TOBI**

TOBI es una plataforma de implementación regular, es un conjunto de interfaces multiplataforma los cuales conectan diferentes partes de un sistema de ICC. El diseño de TOBI está basado en el modelo propuesto por Mason y Birch. Como se muestra en la siguiente imagen, TOBI está basado en un sistema de tuberías.

5. TRABAJOS RELACIONADOS

Existen varios ejemplos que actualmente han usado las mismas tecnologías que se usan en este trabajo de grado. Cabe resaltar que varios trabajos no sólo tienen como objetivo el tratamiento para TDAH, sino varias enfermedades mentales como la ansiedad, depresión, incluso personas que sufren de convulsiones. Dichos tratamientos que se han investigado y en los cuales se ha logrado tener éxito. Las enfermedades más comunes y más investigadas son las que se muestran a continuación de acuerdo a la investigación y a los resultados positivos obtenidos que muestra la efectividad del entrenamiento con NF; tales como la mejora de las funciones cognitivas para niños con trastornos de déficit de atención e hiperactividad (TDAH), donde muestra resultados positivos sobre el aprendizaje de auto-regulación de la actividad cerebral de cada sujeto [8] [9] [10], y no sólo tratamiento en niños sino también en personas adultas [2] y también haciendo comparaciones con procedimientos farmacológicos [11].

Estos resultados dan pie para que este trabajo de grado tenga posibilidades de tener un resultado positivo también, además que las pruebas no serán necesariamente en niños, sino el grupo de prueba será variado de acuerdo a las edades. Una de las investigaciones para el tratamiento de depresión y ansiedad basada en entrenamiento con NF expone los resultados positivos que este tratamiento hace [12] [13], incluso algunas investigaciones y desarrollo basan el entrenamiento de NF para incrementar los niveles de atención en las personas haciendo uso de los videojuegos [14].

Se puede aclarar que las diferencias de estos trabajos radican en las técnicas usadas para el procesamiento de las señales y los diferentes dispositivos usados. También surgen diferencias en los ambientes y grupos de control que son evaluados y la cantidad de tiempo a la que son sometidos los participantes al videojuego. Es posible que incluso la cultura en la que las pruebas fueron realizadas influyan en los resultados.

6. PROCESO DE DISEÑO

Para el proceso de diseño se hicieron unos pasos a seguir donde los requerimientos hicieron parte de este proceso. El levantamiento de requerimientos se hizo por medio de entrevistas con los psicólogos Adriana Martínez y César Acevedo, psicólogos y docentes de la Pontificia Universidad Javeriana, donde se trataron los siguientes temas y se hace una breve, pero concisa descripción de los requerimientos funcionales y los requerimientos no funcionales detallando su estado y su priorización, así como también se detalla su clasificación en el caso de los requerimientos no funcionales:

6.1 Interdisciplinariedad

Durante este proceso se hicieron varias reuniones con los psicólogos para poder aterrizar el proyecto de grado. Con ellos se trató una presentación breve del trabajo de grado y global del trabajo de grado, se habló sobre la bibliografía recomendada en la primera entrevista y se realizó un mapa mental con la bibliografía propuesta, del cual se generaron las ideas para los prototipos. En la segunda entrevista, se mostraron los *mockups* a los psicólogos y de acuerdo con lo hablado en la reunión se escogió como tema final para el trabajo de grado un videojuego 3D con características de competitividad como lo eran las carreras de carros. Se hizo la especificación de los requerimientos.

6.2 Diseño

El diseño final de VIA tuvo que pasar por varios *mockups* iniciales para lograr llegar al diseño final. Se tuvo que pasar de la idea del juego en 2 dimensiones a 3 dimensiones, pues los psicólogos recomendaron este entorno como un entorno mucho más sugestivo a las personas, por esta razón VIA terminó siendo un videojuego de 3D.

6.3 Grupo control

El grupo control idealmente era trabajar con sujetos menos de edad, sin embargo, la edad tenía sus dificultades a la hora de conseguir permisos de los padres respectivos. Por esta razón se escogió un grupo de personas que fueran mayores de edad. Una vez se hizo la investigación y reconocimiento de los procesos de TDAH y de las posibles personas a las que el TDAH puede afectar, se encontraron resultados donde el mito de que los niños son los únicos con TDAH es eso, sólo un mito, pues existen personas de alta edad, de tercera edad que pueden padecer de este trastorno. Es cierto que el porcentaje es menor que el de los menores de edad, pero sigue siendo una realidad. Es por esta razón que el grupo control escogido fuera diverso en edades, con el fin de abarcar un rango general de las posibles personas que pueden sufrir trastornos de TDAH.

6.4 Elementos de realimentación

De acuerdo con el objetivo del *Neurofeedback* los sujetos del grupo control deberían tener un elemento fácil de reconocer y que caracterizara las acciones de VIA dentro del juego. De acuerdo con esto, se establecieron dos elementos que debían dos requisitos:

- El primer requisito era que un elemento de realimentación lograra representar los niveles de atención con un nivel gradual. Por esta razón se escogió un velocímetro, pues este puede realimentar mediante la velocidad y los grados representados en velocidad alta o baja.
- El segundo elemento debía contener, así como su realimentación, también debía contener un concepto de competitividad para cumplir objetivo de videojuego. Por esta razón se escogió un elemento de tiempo límite, el cual los jugadores podrían mejorarlo y competir con sus compañeros.

6.5 Requerimientos funcionales

A continuación, se muestran los requerimientos funcionales identificados durante las entrevistas con los psicólogos como con la directora de trabajo de grado:

Nombre Requerimiento	Tipo Requerimiento	Porcentaje implementado
El usuario debe ser informado cuando gana.	Funcional	100%
El usuario debe poder ganar.	Funcional	100%
El usuario debe poder perder.	Funcional	100%
El usuario debe ser informado cuando pierde.	Funcional	100%
El usuario debe ser informado cuando gana.	Funcional	100%
El usuario debe poder mejorar su tiempo de llegada.	Funcional	100%
El juego debe tener diferentes niveles de dificultad.	Funcional	100%

El usuario debe poder avanzar de nivel si queda de primero en la carrera	Funcional	100%
El juego debe tener un nivel de entrenamiento.	Funcional	100%
El juego debe transcurrir en un tiempo de 5 minutos por nivel.	Funcional	100%
El usuario debe poder repetir la carrera si queda de segundo o queda de último en la carrera.	Funcional	100%
El usuario debe ser informado del tiempo en el transcurso del juego.	Funcional	100%
El usuario debe ser informado de la velocidad en el transcurso del juego.	Funcional	100%
La velocidad debe estar representada con un velocímetro.	Funcional	100%

6.6 Requerimientos no funcionales

A continuación, se muestran los requerimientos no funcionales identificados durante las entrevistas con los psicólogos como con la directora de trabajo de grado:

Nombre Requerimiento	Tipo Requerimiento	Porcentaje implementado
El usuario debe ser informado cuando gana.	F	100%
El usuario debe poder ganar.	F	100%
El usuario debe poder perder.	F	100%

El usuario debe ser informado cuando pierde.	F	100%
El usuario debe ser informado cuando gana.	F	100%
El usuario debe poder mejorar su tiempo de llegada.	F	100%
El juego debe tener diferentes niveles de dificultad.	F	100%
El usuario debe poder avanzar de nivel si queda de primero en la carrera	F	100%
El juego debe tener un nivel de entrenamiento.	F	100%
El juego debe transcurrir en un tiempo de 5 minutos por nivel.	F	100%
El usuario debe poder repetir la carrera si queda de segundo o queda de último en la carrera.	F	100%
El usuario debe ser informado del tiempo en el transcurso del juego.	F	100%
El usuario debe ser informado de la velocidad en el transcurso del juego.	F	100%
La velocidad debe estar representada con un velocímetro.	F	100%
El sistema debe manejar dispositivos para la lectura de EEG.	NF	100%
El videojuego VIA debe tener un propósito.	NF	100%

VIA debe poder fomentar ganar la carrera.	NF	100%
VIA debe tener tiempos de respuesta inmediata en cuanto a las transacciones y al flujo del juego.	NF	100%
VIA debe ser compatible con el sistema operativo Windows	NF	100%
El sistema debe ser de manejo intuitivo.	NF	100%
El sistema debe manejar dispositivos de entrada como EMOTIV.	NF	100%
El sistema debe manejar dispositivos de salida como la pantalla y sonido multimedia.	NF	100%
VIA debe satisfacer la necesidad para el usuario de una interacción natural mediante el uso del EMOTIV.	NF	100%
VIA debe ser en tiempo real.	NF	100%

Una vez realizados los requerimientos, se puede ver que los requerimientos planteados fueron implementados en un 100% para lograr el objetivo de VIA.

Como VIA es un prototipo de videojuego con técnicas de ICC, se encontró que las aplicaciones de ICC se construyen sobre un sistema de software como se muestra a continuación en la Figura 1:

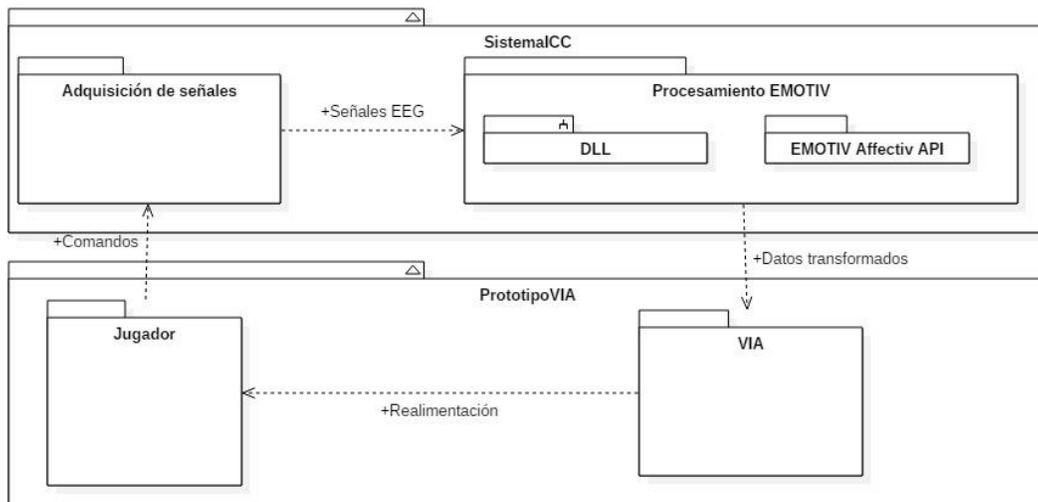


Figura 1 Diagrama de paquetes de VIA



El sistema de Interacción Cerebro Computador se propone mostrar los paquetes que interactúan en él, A continuación, se describen los paquetes que se encuentran en el sistema de ICC:

- **Adquisición de señales:** Este paquete es el encargado de obtener la actividad cerebral de un individuo. Para poder lograr este objetivo, el individuo debió tener puesto en su cabeza el dispositivo de EMOTIV. Una vez se obtuvieron las señales electroencefalográficas, este dispositivo se conecta con una librería dinámica desarrollada por el exponente quien recibe las señales.
- **DLL:** Es una librería dinámica que está encargada de recibir la señal electroencefalográfica del dispositivo, procesarla y una vez procesada, este debe enviar la información a VIA.
- **El EMOTIV Affective API** hace el procesamiento de los datos y el algoritmo que no está público está basado en las señales obtenidas alfa y beta investigadas en este proyecto. Este valor representa el enfoque y compromiso, así como el de aburrimiento.

Este valor está dado entre cero y uno, donde uno equivale a muy enfocado, con atención y cero a muy aburrido y desatendido.



El módulo de prototipo de VIA se propone mostrar los paquetes que interactúan en él. A continuación, se describen los paquetes que se encuentran en el módulo de prototipo de VIA:

- **Jugador:** El jugador es quien tiene el dispositivo del EMOTIV en su cabeza y este tiene como objetivo auto regular su actividad cerebral a través de la realimentación que recibe por parte del paquete de VIA.
- **VIA:** Es el videojuego que está encargado de recibir la información que envía la librería dinámica y mostrarla en pantalla para realimentar al jugador.

6.7 Metas y restricciones de la arquitectura

La arquitectura propuesta en este trabajo de grado está basada en la arquitectura que se usa normalmente para cualquier sistema de Interacción Cerebro Computador. Sin embargo, este sistema hace una integración con lo que representa un sistema de *Neurofeedback*, el cual cierra el ciclo entre el dispositivo final y el jugador quien inicia el proceso.

Esta arquitectura permite modificar el juego para futuras mejoras y caracterizaciones necesarias gracias al desacoplamiento que hay entre paquetes. De la misma manera, si la información que se quiere del dispositivo EMOTIV es diferente, basta con modificar la DLL y simplemente en el juego hacer uso de las funcionalidades que la DLL ofrece. La DLL está implementada de forma que se le puedan agregar nuevas funcionalidades sin afectar el funcionamiento actual, esto con el fin de poder modificar el sistema para mejoras.

6.8 Herramientas, lenguajes y tecnologías

En esta sección se hizo un análisis de las herramientas, lenguajes y tecnologías que se podrían usar para el trabajo de grado. Después del análisis, se establecieron las herramientas, lenguajes y tecnologías que se usarían en este proyecto de acuerdo con los conocimientos del autor

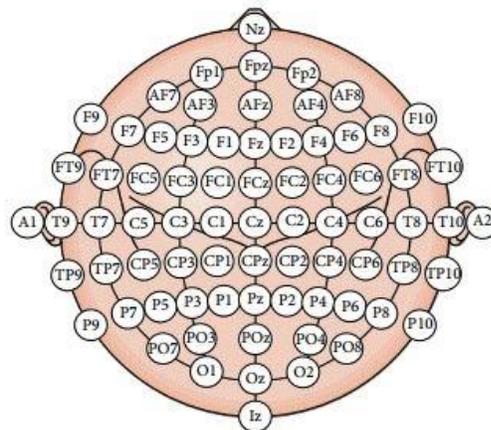
y a las facilidades que estos proveían. Se planteó una posible solución al sistema que debía ser implementado de acuerdo con las herramientas, lenguajes y tecnologías que se tienen en la primera fase del proyecto de grado.

Los dispositivos que se tienen para realizar la lectura de señales electroencefalográficas (EEG) y los motores de videojuegos. La explicación de cada uno de los elementos se encuentra en el anexo: Análisis de las herramientas y en el anexo: Tablas de comparación de motores. Finalmente, después de dicho análisis se establecieron los dispositivos:

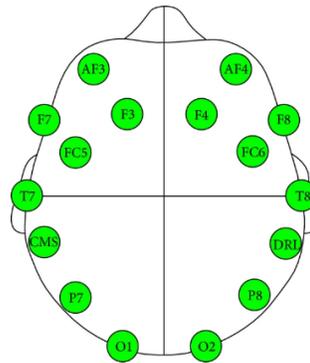
- EMOTIV: Dispositivo para la adquisición de señales electroencefalográficas debido a su facilidad de acceso como producto comercial y su disponibilidad de acceso a través de un API para la obtención del umbral necesario de atención.
- Unity3D: Este motor de videojuegos cumplía con las necesidades básicas de conexión con el EMOTIV, Lenguajes de implementación compatibles con C++ para la librería dinámica con C#, y la facilidad de diseño del videojuego.

6.9 Sistema internacional 10-20

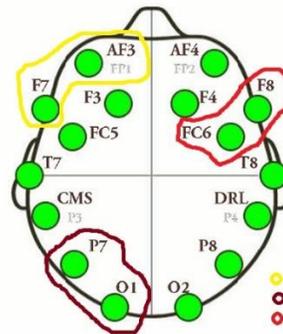
El sistema internacional 10-20 es un sistema estandarizado para el posicionamiento de los electrodos en el cuero cabelludo de las personas. A continuación, se muestra una imagen del sistema con sus valores de acuerdo con una nomenclatura de los electrodos. Esta nomenclatura obedece a una región cerebral y tiene una numeración que va de menor a mayor, donde los números impares se encuentran en la parte izquierda de la cabeza y los pares en la derecha.



De acuerdo con el dispositivo seleccionado para trabajar el proyecto de grado, se muestra a continuación una imagen con los electrodos que contiene el EMOTIV y su posicionamiento. Es evidente que no se tienen la cantidad de electrodos como los muestra la imagen del estándar 10-20, sin embargo, el EMOTIV con 16 electrodos es capaz de arrojar resultados positivos y muy acertados.



Las señales analizadas durante todo el proyecto de grado para relacionar las actividades de atención y de relajamiento, se pueden identificar en la siguiente imagen, donde se muestra la actividad de las señales alfa beta y P300. Las señales Alfa representan de acuerdo con su intensidad, si su intensidad es baja, y la intensidad de las señales beta son altas, la persona se encuentra en completo enfoque y alerta a cualquier situación que se le presente. Las señales P300 están para indicar cuando el sujeto reacciona físicamente y esta señal se está trabajando al jugador hacer interacción con uno de los elementos de acción de VIA que se describen en la sección de implementación. Las señales alfa y beta se usan para medir estados de relajación y estados de alerta. Estas señales son las que el API del EMOTIV usa para realizar sus algoritmos y obtener un valor numérico entre 0 y 1 de acuerdo con el nivel de alerta y enfoque y el nivel de aburrimiento, siendo 0 un alto nivel de aburrimiento y 1 un alto nivel de alerta y enfoque.



7. IMPLEMENTACIÓN

VIA es un juego con técnicas de Interfaz Cerebro Computador y de *Neurofeedback*, donde cualquier persona puede entrenar y mejorar sus niveles de atención después de repetidas sesiones. De esta manera será una herramienta útil para apoyar la labor de los psicólogos.

7.1 Objetivo

El objetivo del juego se basa en un jugador que debe concentrarse lo suficiente para poder ganar una carrera de carros. El juego lleva a un proceso incremental de atención necesaria para el jugador. Con este concepto se hace que el jugador con varias horas de juego podrá incrementar sus niveles de atención.

A continuación, se muestra una imagen de VIA. Esta imagen es la primera pantalla que ven los usuarios de VIA y es la pantalla de introducción. Contiene dos botones:

- El primer botón es para iniciar el juego.
- El segundo botón es para salir del juego.



VIA contiene tres niveles de dificultad de acuerdo con los requerimientos obtenidos con los psicólogos. Cada nivel aumenta la dificultad del videojuego dando así posibilidades al usuario de mejorar sus resultados.

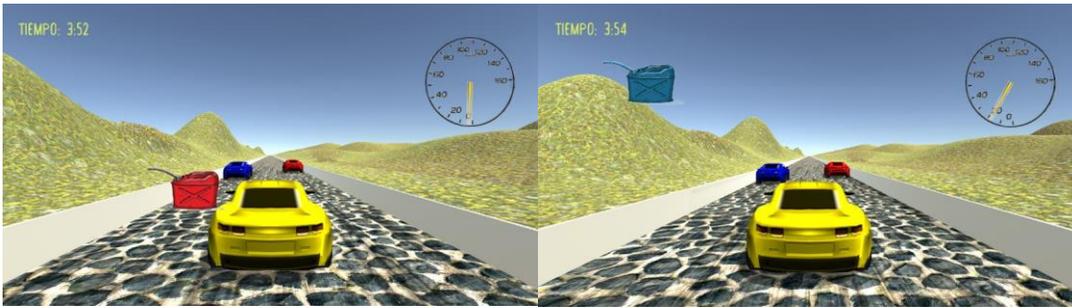
- El primer nivel del juego es de entrenamiento, en el cual aparecerán unas gasolineras de color azul por un determinado tiempo. El jugador debe hacer click con la tecla espaciadora y tener un nivel de atención superior al umbral mencionado anteriormente mientras la gasolinera sea visible. De lo contrario la velocidad del carro disminuirá y podrá perder la carrera. A continuación, se muestra una imagen del primer nivel en juego:



- El segundo nivel de dificultad es igual al anterior, sin embargo, el tiempo de exposición de las gasolinas disminuye aún más. En este nivel no sólo existen los tanques de gasolina azules, sino que también aparecen nuevos tanques de gasolina. Estos nuevos tanques de gasolina son de color rojo y representan exactamente lo contrario a los tanques de gasolina azules. A continuación, se muestra una imagen del segundo nivel en juego:

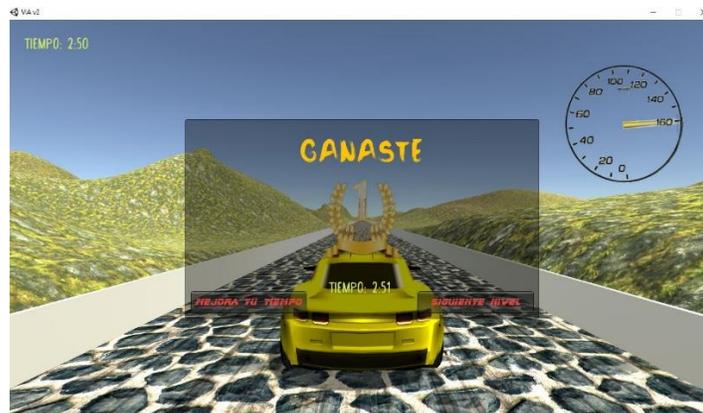


- El tercer nivel de dificultad es igual al anterior, sin embargo, el tiempo de exposición de las gasolinas disminuye aún más y la posición de las gasolinas cambia aleatoriamente de posición en la pantalla. Esto hará que el jugador esté más atento en el juego con menos tiempo para distraerse. A continuación, se muestra una imagen del tercer nivel en juego:



VIA tiene tres posibles salidas que le ofrece al jugador en cada uno de los niveles:

- La primera posible salida es la de ganador de la carrera. Esta opción sucede cuando el jugador queda de primero en la carrera y se despliega en la pantalla el número uno con dos opciones en dos botones. El primer botón ofrece la posibilidad de volver a correr la misma carrera (repetir el mismo nivel) y así poder mejorar el tiempo obtenido durante la carrera jugada. El segundo botón ofrece la posibilidad de seguir al siguiente nivel.



- La segunda posible salida es la de segundo puesto de la carrera. Esta opción sucede cuando el jugador queda de segundo en la carrera y se despliega en la pantalla el número dos con una única opción sobre el botón. El botón ofrece la posibilidad de volver a correr la misma carrera (repetir el mismo nivel) y así poder mejorar el tiempo obtenido durante la carrera jugada y poder quedar de primero y así tener la opción de subir de nivel.



- La tercera posible salida es la de perdedor de la carrera. Esta opción sucede cuando el jugador queda de último en la carrera y se despliega en la pantalla el número tres con una única opción. El botón ofrece la posibilidad de volver a correr la misma carrera (repetir el mismo nivel) y así poder mejorar el tiempo obtenido durante la carrera jugada y poder quedar de primero y así tener la opción de ganar VIA.

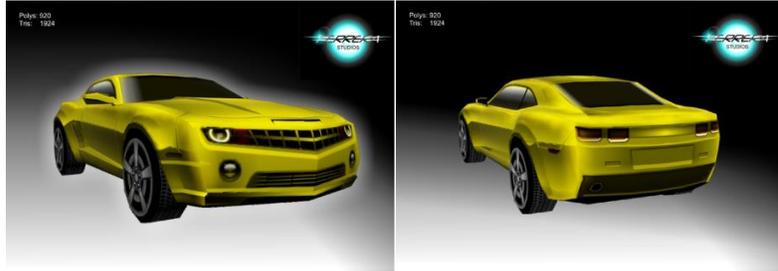
Es necesario decir que el videojuego no está caracterizado de acuerdo con el grupo control y se generalizó para obtener un resultado general. En el proceso de desarrollo hay un paso donde se realizó trabajo interdisciplinar para la creación y grabación de la música y efectos de VIA.

- Adaptar el último prototipo a VIA.
- Separar el código en paquetes.
- Diseño del escenario.
- Implementación de DLL
- Reconocimiento de nivel de atención usando EMOTIV API.
- Implementación Niveles.
- Ubicación de objetos geométricos en el escenario.
- Texturizar los objetos geométricos.
- Implementar audio.
- Grabación audio.
- Implementar la interfaz gráfica de bienvenida y de ganar / perder.
- Integración de librerías externas con Unity3D.

7.2 Elementos de acción

En esta sección se describen todos los elementos de acción que están identificados en VIA para que el jugador pueda interactuar correctamente:

- Automóvil amarillo: Este automóvil es el objeto con el que el jugador interactuará directamente y competirá con los otros dos carros gestionados directamente por el sistema.



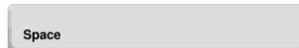
- Tanque de gasolina azul: Este tanque es el elemento que el jugador debe capturar mientras esté visible en la pantalla. Con este tanque el jugador podrá avanzar y subir su velocidad en el caso de tener el valor del umbral calculado por encima de 0.5 de acuerdo con el nivel de atención calibrado.



- Tanque de gasolina rojo: Este tanque es el elemento que el jugador debe capturar mientras esté visible en la pantalla. Con este tanque el jugador podrá avanzar y subir su velocidad en el caso de tener el valor del umbral calculado por encima de 0.5 de acuerdo con el nivel de atención calibrado.



- Tecla espaciadora: Es el elemento de interacción para activar los objetivos de los tanques de gasolina.



- Meta: Es el elemento que acciona las posibles finalizaciones de cada carrera.



- **EMOTIV:** Es el dispositivo para capturar la actividad cerebral del jugador, capturar sus ondas electroencefalográficas y así poder calcular el umbral de atención.



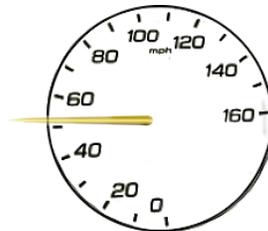
7.3 Elementos de información/realimentación

En esta sección se describen todos los elementos de información y realimentación que están identificados en VIA para que el jugador pueda interactuar correctamente:

- **Puesto final:** Este elemento indica la posición final de la carrera ya sea el primero, segundo o tercer lugar en el que finalice el jugador.



- **Velocímetro:** Este elemento existe para poder darle realimentación al jugador acorde con sus niveles actuales de atención, con la opción de aumentar o disminuir.



- **Tiempo:** Este elemento está para darle competitividad al jugador y que al mismo tiempo se realimente para saber lo que debe durar en la carrera y lo que necesita para poder ganar.

05:00

8. PROCESO DE VALIDACIÓN

En el proceso de validación se hicieron dos pruebas de PEBL con TOAV. Al inicio y al final del proceso de entrenamiento con VIA. Para el análisis de los resultados se tuvieron únicamente en cuenta los valores de variabilidad de tiempo de respuesta, el tiempo de respuesta correcto, el tiempo de respuesta incorrecto, los errores por comisión, los errores por omisión y las muestras correctas. Estos datos son denominados las variables primarias y las variables secundarias no se usaron para realizar evaluaciones en este trabajo de grado porque no son tan precisas ni pertinentes para evaluar los niveles de atención.

8.1 Variabilidad del tiempo de respuesta

La variabilidad del tiempo de respuesta ("RTV") es una medida de la variabilidad (consistencia) del tiempo de respuesta. RTV es la desviación estándar de los tiempos de respuesta correctos, y por lo tanto las medidas directas de la propagación de los tiempos de respuesta rápida y lenta del sujeto [34].

8.2 Tiempo de respuesta correcto

El tiempo de respuesta correcto es el tiempo de procesamiento (en milisegundos) que se toma para responder correctamente al objetivo. Cuenta de forma intuitiva, las personas con TDAH a menudo tienen tiempos de respuesta más lentos de lo normal y más rápidas. Esta medida es una de las más importantes, especialmente en la primera mitad infrecuente ("aburrida") [34].

8.3 Tiempo de respuesta incorrecto

El tiempo de respuesta incorrecto es el tiempo de procesamiento (en milisegundos) que se toma para responder correctamente al objetivo. Contador: de forma intuitiva, las personas con TDAH a menudo tienen tiempos de respuesta más lentos de lo normal y más rápidas. Esta medida es una de las más importantes, especialmente en la primera mitad infrecuente ("aburrida") [34].

8.4 Errores de comisión

Los errores de comisión son una medida de impulsividad y / o desinhibición y ocurren cuando el sujeto está en-responde correctamente al no objetivo; es decir, el sujeto presiona el botón cuando no deberían tenerlo. Como los errores excesivos de comisión pueden afectar a las otras variables, también son una medida importante de la validez de la prueba [34].

8.5 Errores de Omisión

Los errores de omisión son una medida de enfoque y vigilancia y ocurren cuando el sujeto no responde a un estímulo objetivo; es decir, el sujeto omite presionar el botón cuando aparece o

se reproduce un objetivo. Esto puede deberse a falta de atención o distracción. Los errores de omisión son poco comunes en los adultos, y se deben investigar largas cadenas de errores omisiones [34].

8.6 Muestras correctas

Las muestras correctas son simplemente los objetivos realizados correctamente en ambas sesiones de la prueba TOAV. De acuerdo con la primera mitad, la cantidad de objetivos es de 320 y la segunda mitad igual. El resultado se verá reflejado en cuántos objetivos correctos se obtuvieron en total [34].

8.7 Proceso

Para poder realizar correctamente el proceso de validación, se sometieron seis sujetos a un proceso de validación de sus niveles de atención mediante VIA. Cada uno de ellos debía tener unas especificaciones en el entorno en el cual debería jugar VIA:

- Silencio en el cuarto donde estarán los dispositivos de EMOTIV y VIA.
- Una única luz que no distraiga al sujeto.
- Si los sujetos eran fumadores, debían dejar de fumar al menos dos días antes de empezar el proceso hasta finalizar el experimento.
- Si los sujetos tomaban cafeína, debían dejar de tomarla al menos dos días antes de empezar el proceso hasta finalizar el experimento.
- El celular lo debían tener apagado durante la sesión de juego con VIA.

Una vez establecido el entorno donde los sujetos participarían en el proyecto, debían considerar tener cinco días disponibles para realizar este proceso. Para empezar el proceso se ejecutaron las pruebas de PEBL TOAV a cada uno de los sujetos antes de empezar el proceso.

Una vez la primera prueba ejecutada por el individuo, se almacenaron los datos obtenidos de acuerdo con su desempeño en la prueba y se precedió a empezar VIA. Para empezar VIA, el sujeto tuvo que pasar por un momento de ajuste a sus niveles subjetivos de atención y de relajamiento. Este momento de ajuste consistió en promediar sus valores obtenidos con API de EMOTIV durante cinco minutos con música especializada para relajación y se hizo lo mismo, pero con problemas matemáticos simples para calcular el umbral de atención y foco.

Como cada sujeto fue sometido al mismo proceso de calibración de atención y relajamiento, cada sujeto debería tener un nivel diferente de validación dentro del juego, sin embargo, dado que los niveles fueron muy similares se pudo generalizar este valor y se estableció como valor general para cada sujeto de 0.5 tal como se menciona anteriormente.

Al tener el umbral establecido y haber ejecutado las pruebas iniciales, los individuos empezaron el proceso de juego con VIA. Este proceso consistió en jugar VIA una hora diaria durante cinco días seguidos cumpliendo las normas anteriormente mencionadas. El último día de juego, el sujeto debió ejecutar de nuevo la prueba de PEBL TOAV para así poder obtener los nuevos datos del sujeto después del proceso de juego con VIA.

Ahora, con los datos de la primera prueba y la segunda prueba, se hizo un análisis cualitativo sobre las variables primarias de TOAV. Al hacer el análisis se obtuvieron varios resultados sobre cada sujeto. Los seis sujetos que participaron en este proyecto fueron clasificados en subgrupos por edades. Cada subgrupo clasificado por edad está compuesto por dos sujetos. Existen tres subgrupos:

- Individuos entre 18 y 20 años.
- Individuos entre 30 y 35 años.
- Individuos mayores de 50 años.

Finalmente, después de tener todos los análisis cualitativos de las pruebas iniciales y las pruebas finales se obtuvieron los siguientes resultados:

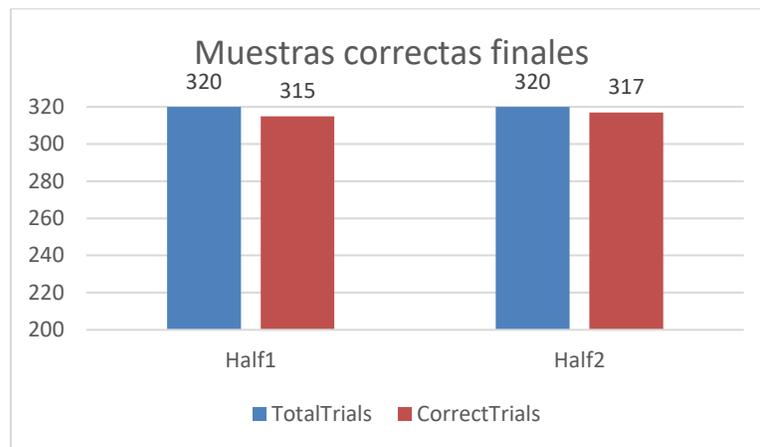
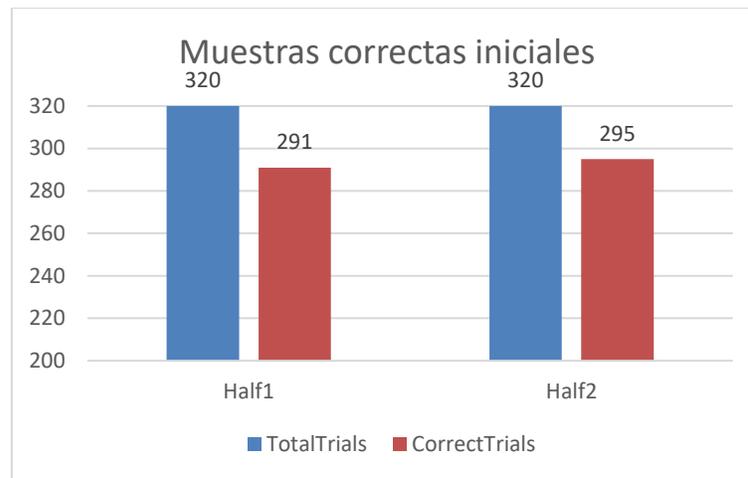
8.8 Resultados individuos entre 18 y 20 años

El primer análisis se hizo de acuerdo con las muestras correctas. El resultado de las muestras correctas nos sirvió para ver cuántos objetivos se obtuvieron correctamente antes y después de jugar VIA y así poder ver si hubo un aumento o una disminución del mismo.

El segundo análisis se hizo de acuerdo con los errores de comisión y de omisión. El resultado de los errores nos sirvió para ver cuántos errores se obtuvieron antes y después de jugar VIA y así poder ver si hubo un aumento o una disminución del mismo.

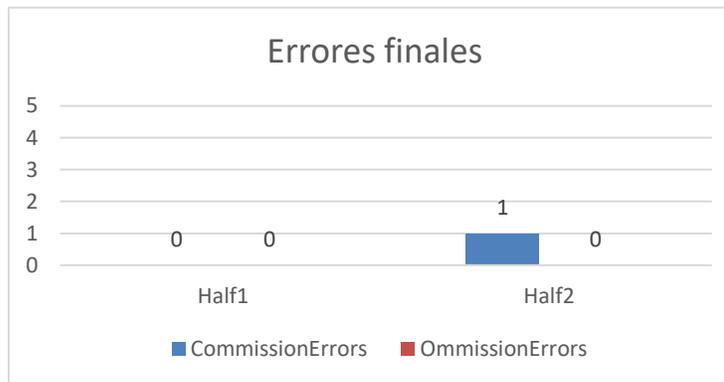
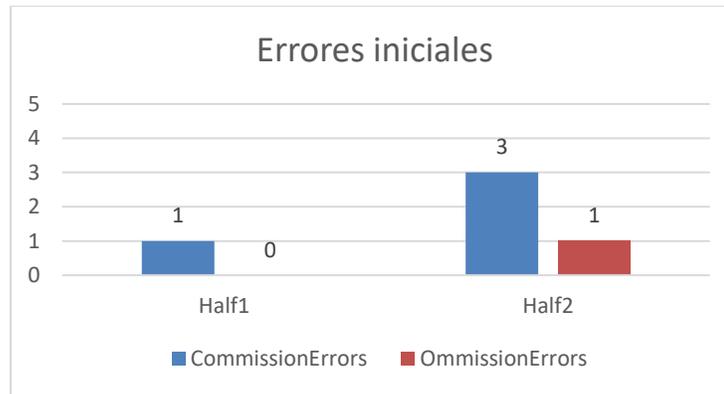
El tercer análisis se hizo de acuerdo con los tiempos de respuesta por cada objetivo y cada objetivo falso. El resultado de los tiempos de respuesta nos sirvió para ver cuánto tiempo se obtuvo antes y después de jugar VIA al reaccionar en cada objetivo y así poder ver si hubo un aumento o una disminución del mismo.

Las gráficas que se muestran a continuación son la muestra de la prueba de TOAV inicial durante cada fase de la prueba. Se analizan en ambas fases que se tienen como valor de análisis, 320 posibles objetivos representados en color azul y los objetivos alcanzados de color rojo durante la parte inicial y final del proceso de validación.



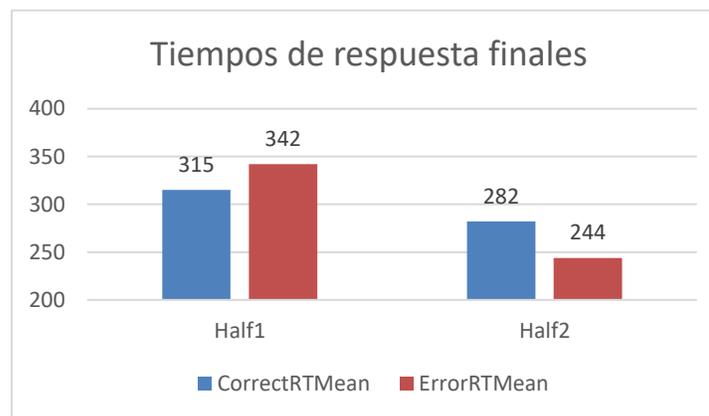
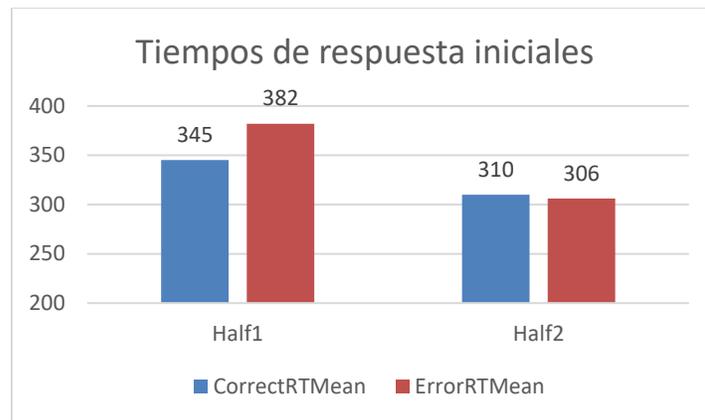
El análisis cuantitativo nos puede mostrar que aumentó un 7% en las muestras correctas en la mitad inicial y un 7% en la segunda mitad.

Las gráficas que se muestran a continuación son errores de la prueba de TOAV inicial y final durante cada fase de la prueba. Se analizan en ambas fases teniendo los errores de comisión representados en color azul y los errores de omisión de color rojo durante la parte inicial y final del proceso de validación.



El análisis cuantitativo nos puede mostrar que los errores por comisión se mantuvieron en la primera mitad y disminuyeron un 1% en la segunda mitad y los errores por omisión se mantuvieron.

Las gráficas que se muestran a continuación son los tiempos de respuesta por cada objetivo y cada objetivo falso de la prueba de TOAV inicial y final durante cada fase de la prueba. Se analizaron en ambas fases teniendo los tiempos de respuesta por cada objetivo en color azul y los tiempos de respuesta por cada objetivo falso de color rojo durante la parte inicial y final del proceso de validación.



El análisis cuantitativo nos puede mostrar que hubo disminución de tiempos de respuesta correctos en un 9% en la primera mitad y en la segunda mitad y que hubo disminución de tiempos de respuesta incorrectos en un 10% en la primera mitad y un 20% en la segunda mitad.

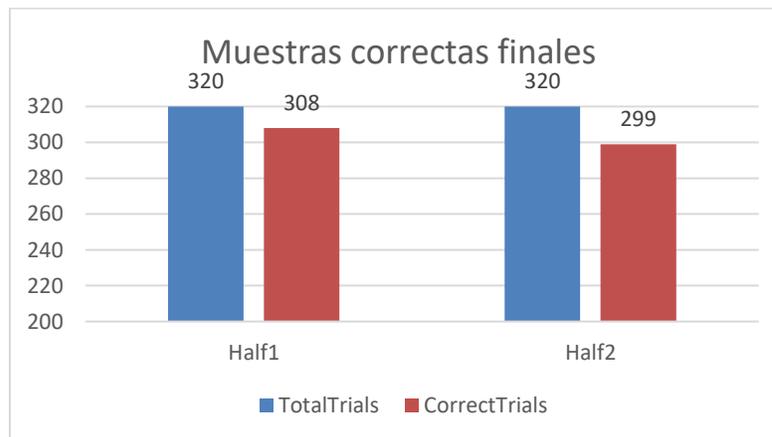
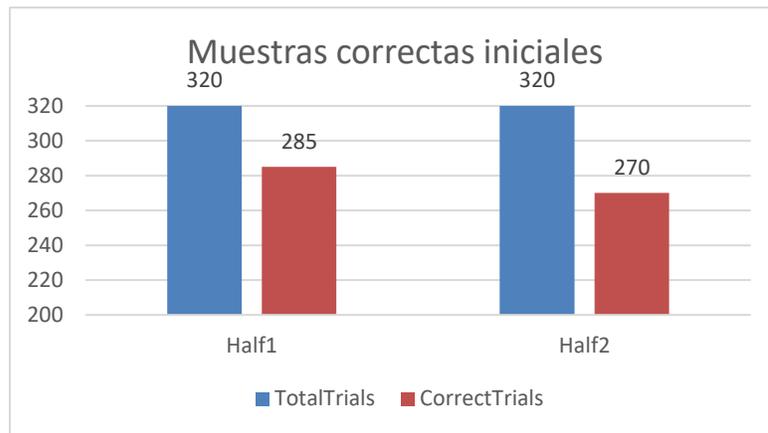
8.9 Resultados individuos entre 30 y 35 años

El primer análisis se hizo de acuerdo con las muestras correctas. El resultado de las muestras correctas nos sirvió para ver cuántos objetivos se obtuvieron correctamente antes y después de jugar VIA y así poder ver si hubo un aumento o una disminución del mismo.

El segundo análisis se hizo de acuerdo con los errores de comisión y de omisión. El resultado de los errores nos sirvió para ver cuántos errores se obtuvieron antes y después de jugar VIA y así poder ver si hubo un aumento o una disminución del mismo.

El tercer análisis se hizo de acuerdo con los tiempos de respuesta por cada objetivo y cada objetivo falso. El resultado de los tiempos de respuesta nos sirvió para ver cuánto tiempo se obtuvo antes y después de jugar VIA al reaccionar en cada objetivo y así poder ver si hubo un aumento o una disminución del mismo.

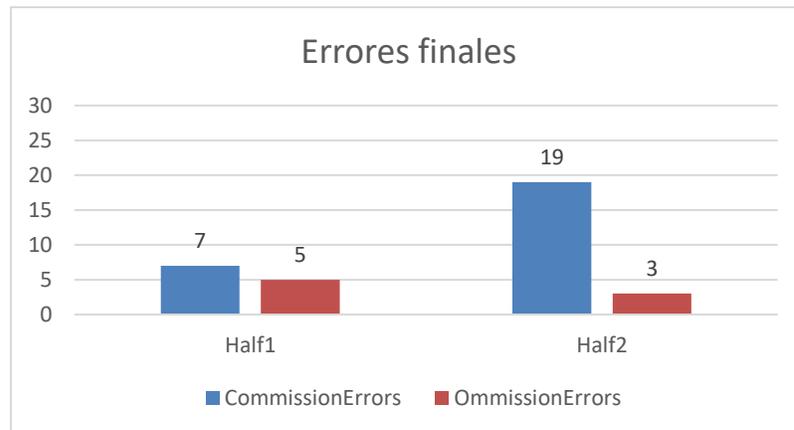
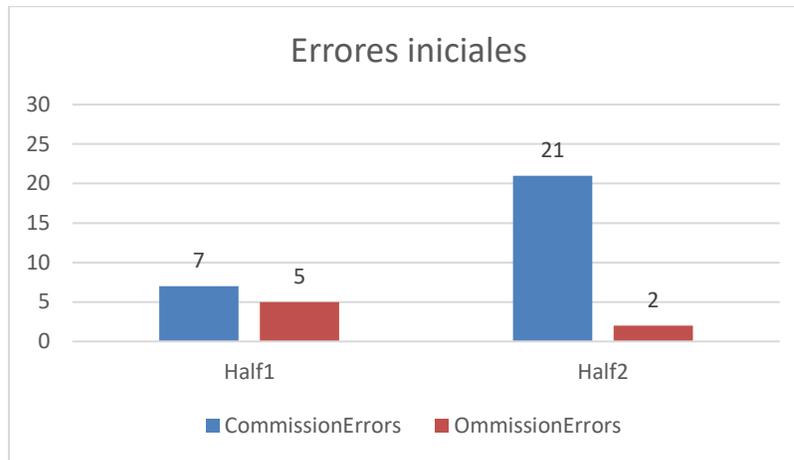
Las gráficas que se muestran a continuación son la muestra de la prueba de TOAV inicial durante cada fase de la prueba. Se analizan en ambas fases que se tienen como valor de análisis, 320 posibles objetivos representados en color azul y los objetivos alcanzados de color rojo durante la parte inicial y final del proceso de validación.



El análisis cuantitativo nos puede mostrar que aumentó un 7% en las muestras correctas en la mitad inicial y un 9% en la segunda mitad.

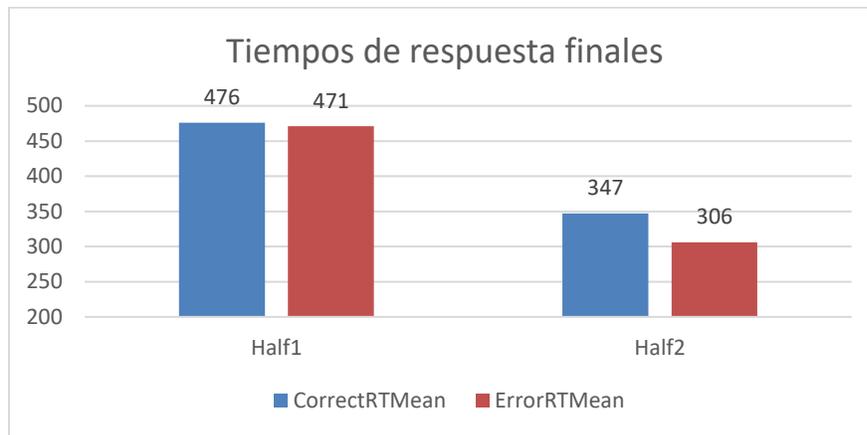
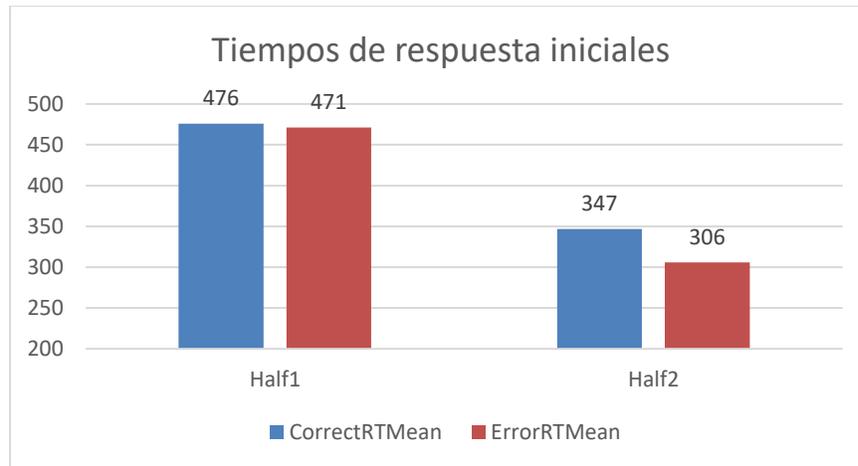
Las gráficas que se muestran a continuación son errores de la prueba de TOAV inicial y final durante cada fase de la prueba. Se analizan en ambas fases teniendo los errores de comisión

representados en color azul y los errores de omisión de color rojo durante la parte inicial y final del proceso de validación.



El análisis cuantitativo nos puede mostrar que los errores por comisión se mantuvieron en la primera mitad y disminuyeron un 1% en la segunda mitad y los errores por omisión se mantuvieron en la primera mitad y en la segunda mitad.

Las gráficas que se muestran a continuación son los tiempos de respuesta por cada objetivo y cada objetivo falso de la prueba de TOAV inicial y final durante cada fase de la prueba. Se analizaron en ambas fases teniendo los tiempos de respuesta por cada objetivo en color azul y los tiempos de respuesta por cada objetivo falso de color rojo durante la parte inicial y final del proceso de validación.



El análisis cuantitativo nos puede mostrar que los tiempos de respuesta correctos se mantuvieron en la primera mitad y en la segunda mitad y que los tiempos de respuesta incorrectos se mantuvieron en la primera mitad y un en la segunda mitad.

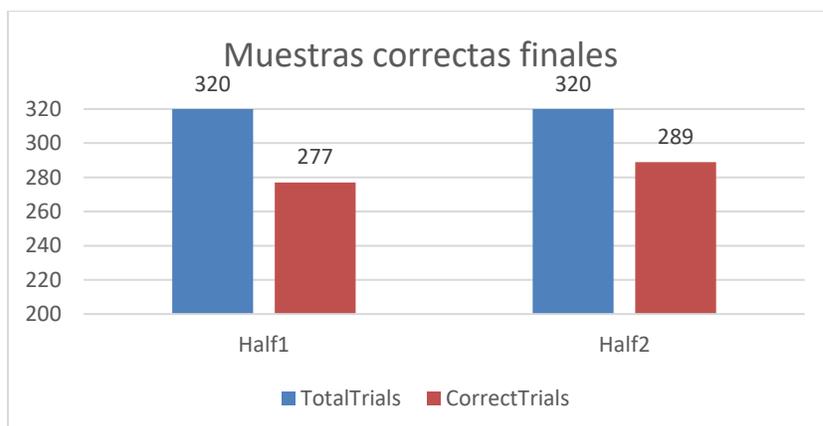
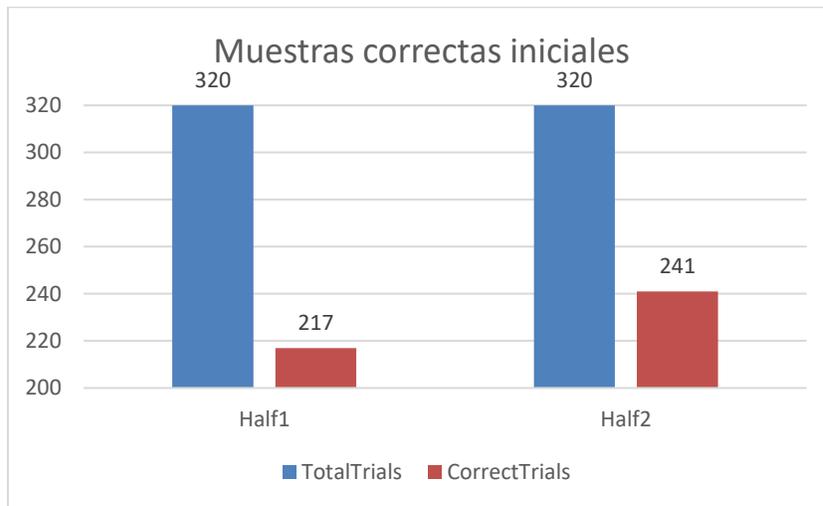
8.10 Resultados individuos mayores de 50 años

El primer análisis se hizo de acuerdo con las muestras correctas. El resultado de las muestras correctas nos sirvió para ver cuántos objetivos se obtuvieron correctamente antes y después de jugar VIA y así poder ver si hubo un aumento o una disminución del mismo.

El segundo análisis se hizo de acuerdo con los errores de comisión y de omisión. El resultado de los errores nos sirvió para ver cuántos errores se obtuvieron antes y después de jugar VIA y así poder ver si hubo un aumento o una disminución del mismo.

El tercer análisis se hizo de acuerdo con los tiempos de respuesta por cada objetivo y cada objetivo falso. El resultado de los tiempos de respuesta nos sirvió para ver cuánto tiempo se obtuvo antes y después de jugar VIA al reaccionar en cada objetivo y así poder ver si hubo un aumento o una disminución del mismo.

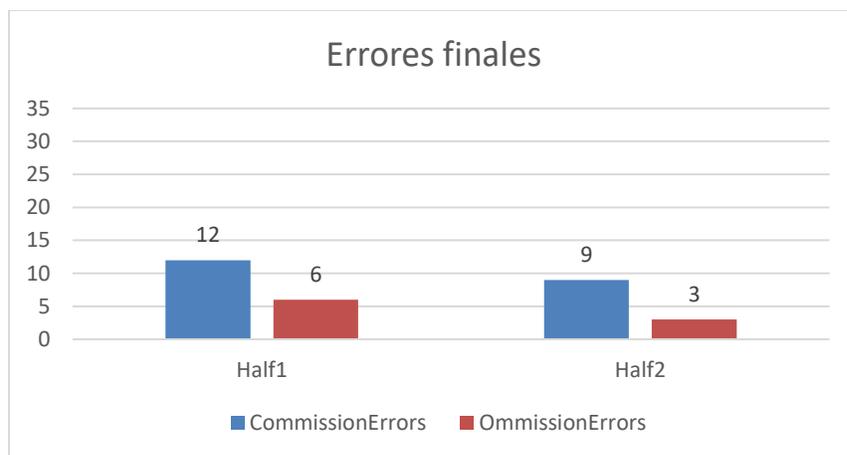
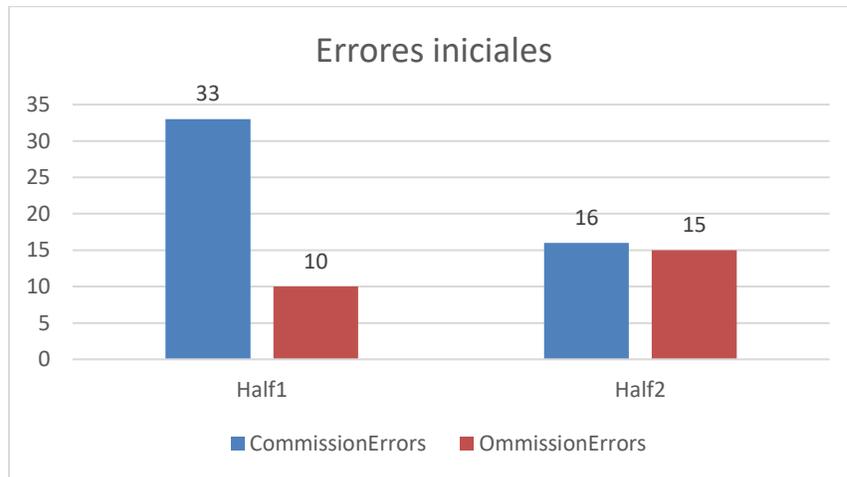
Las gráficas que se muestran a continuación son la muestra de la prueba de TOAV inicial durante cada fase de la prueba. Se analizan en ambas fases que se tienen como valor de análisis, 320 posibles objetivos representados en color azul y los objetivos alcanzados de color rojo durante la parte inicial y final del proceso de validación.



El análisis cuantitativo nos puede mostrar que aumentó un 19% en las muestras correctas en la mitad inicial de la prueba y un 15% en la segunda mitad de la prueba.

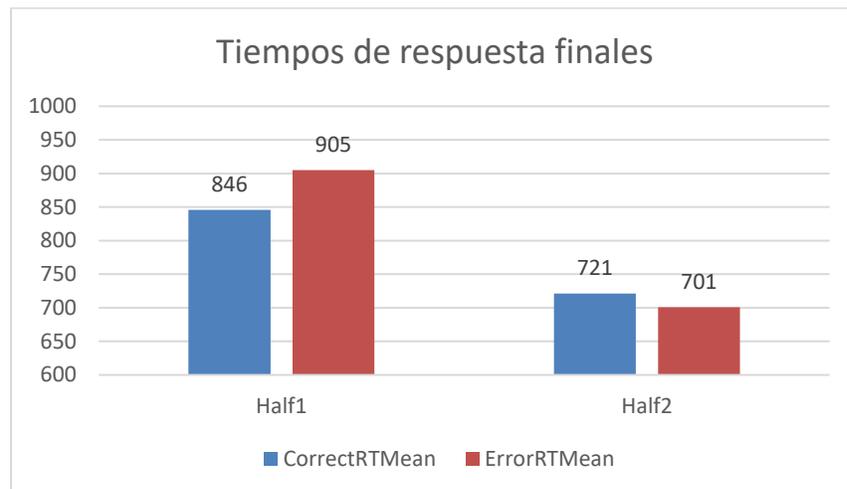
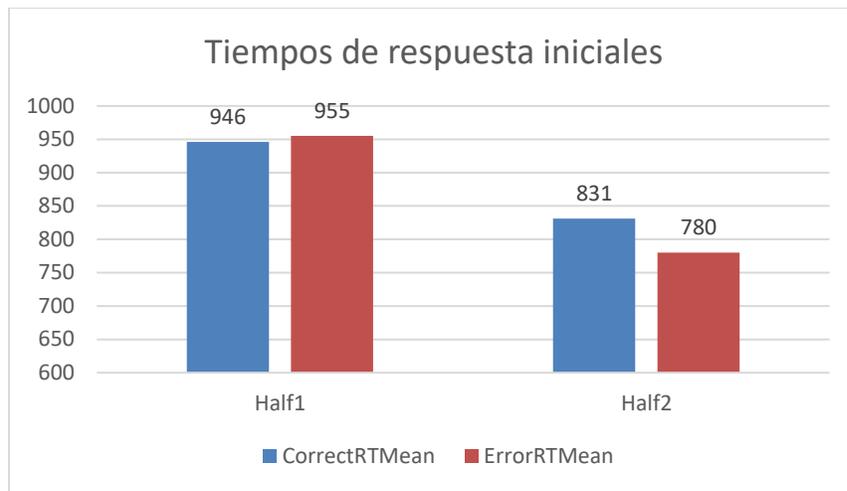
Las gráficas que se muestran a continuación son errores de la prueba de TOAV inicial y final durante cada fase de la prueba. Se analizan en ambas fases teniendo los errores de comisión

representados en color azul y los errores de omisión de color rojo durante la parte inicial y final del proceso de validación.



El análisis cuantitativo nos puede mostrar que hubo disminución de errores por comisión en un 6% en la primera mitad y un 1% en la segunda mitad y que hubo disminución de errores por omisión también disminuyeron en 2% en la primera mitad de la prueba y en un 4% en la segunda mitad de la prueba.

Las gráficas que se muestran a continuación son los tiempos de respuesta por cada objetivo y cada objetivo falso de la prueba de TOAV inicial y final durante cada fase de la prueba. Se analizaron en ambas fases teniendo los tiempos de respuesta por cada objetivo en color azul y los tiempos de respuesta por cada objetivo falso de color rojo durante la parte inicial y final del proceso de validación.



El análisis cuantitativo nos puede mostrar que hubo disminución de tiempos de respuesta correctos en un 10% en la primera mitad y un 13% en la segunda mitad y que hubo disminución de tiempos de respuesta incorrectos en un 15% en la primera mitad y un 11% en la segunda mitad.

También se pudo ver que hubo disminución de tiempos de respuesta correctos en un 10% en la primera mitad y un 13% en la segunda mitad y que hubo disminución de tiempos de respuesta incorrectos en un 15% en la primera mitad y un 11% en la segunda mitad.

9. CONCLUSIONES

Finalmente se puede decir que VIA tuvo un resultado positivo en general de acuerdo con las pruebas de grupo. 5 días de juego una hora diaria fueron suficientes para aumentar los niveles de atención en porcentajes significativos. A pesar de que el juego fue diseñado de forma general para el grupo objetivo sin tener en cuenta las características de cada uno de los subgrupos, todos tuvieron un resultado favorable. Se pudo ver que el subgrupo de 30 a 35 años no tuvo muchos cambios entre la prueba inicial y la prueba final, y es posible que se deba a la falta de caracterización en el diseño del videojuego por cada subgrupo.

El API de EMOTIV fue fundamental para lograr el objetivo, puesto que se pudo manipular de forma más fácil y rápida de lo que hubiera sido un análisis de la señal cruda directa de las señales electroencefalográficas del dispositivo. El valor de atención y aburrimiento como valor umbral que se le da para la evaluación y validación de todos los sujetos se ofrece de forma sencilla y se resalta que los métodos y algoritmos que son usados para obtener el valor que se le ofrece al público, a pesar de ser privado, se hace referencias a las señales investigadas en este proyecto de grado. Las señales alfa y beta fueron procesadas para obtener el valor.

Trabajar en conjunto con el departamento de psicología de la Pontificia Universidad Javeriana y con psicólogos calificados y enfocados en temas de neurociencia fue la base que se tuvo desde un comienzo para darle forma al proyecto y para tener un resultado objetivo y apropiado. El trabajo interdisciplinar, así como fue positivo su apoyo para el desarrollo de este proyecto, también tuvo sus momentos álgidos en el que los dispositivos propuestos por los psicólogos eran más difíciles de adquirir y los psicólogos no querían usar otros dispositivos. Encontrar un espacio para poder realizar pruebas para el desarrollo de VIA era muy complicado por la disponibilidad de la sala de psicología. Finalmente, entre investigaciones, se pudo ver que el uso del EMOTIV era una muy buena opción para el desarrollo de este proyecto y poder cumplir los objetivos propuestos.

Encontrar personas que estuvieran dispuestas a realizar este proceso fue largo y complicado, pues todos son muy reacios a la idea de que le conecten algo en la cabeza y “saber” qué está pasando por su mente. Como la idea inicialmente fue poder aplicar VIA a personas diagnosticadas con TDAH, pero fue modelada y reformada por los psicólogos para trabajar con personas no diagnosticadas, siempre se tuvo el objetivo de trabajar con personas menores de edad puesto que ellos son los más públicamente reconocidos con problemas de TDAH. Después de varias sesiones con los psicólogos e investigación en la literatura actual, se encontró que la edad no importaba para poder sufrir de este trastorno y que todos podían mejorar su estado actual a través de un proceso psicológico, siendo VIA una excelente alternativa para intervenir y ser parte de ese proceso en el que los psicólogos hacen uso para resolver un problema tan grande como lo es el TDAH.

Como trabajo futuro se podría mejorar el análisis de las señales alfa y beta para procesarlas manualmente y así poder incrementar la exactitud de los valores. Sin embargo, la API de EMOTIV para este tipo de proyecto resultó ser una buena opción para evaluar los niveles de atención y cumplir con el objetivo del trabajo de grado. También se puede ver que la arquitectura propuesta para este proyecto fomenta y facilita los posibles cambios que se puedan

requerir para caracterizar un videojuego a partir de las edades correspondientes. Es decir, cualquier juego realizado en Unity3D, se podría conectar de manera sencilla sin hacer cambios en los otros componentes de todo el sistema.

10.REFERENCIAS

- [1] I. Gartha, "What is biofeedback?" *Canadian Family Physician*, vol. 22, p. 105, 1976.
- [2] N. Lofthouse, K. McBurnett, L. E. Arnold, and E. Hurt, "Biofeedback and neurofeedback treatment for ADHD," *Psychiatric Annals*, vol. 41, no. 1, pp. 42–48, 2011.
- [3] D. C. Hammond, "What is neurofeedback?" *Journal of Neurotherapy*, vol. 10, no. 4, pp. 25–36, 2007.
- [4] D. Vernon, T. Egner, N. Cooper, T. Compton, C. Neilands, A. Sheri, and J. Gruzelier, "The effect of training distinct neurofeedback protocols on aspects of cognitive performance," *International journal of psychophysiology*, vol. 47, no. 1, pp. 75–85, 2003.
- [5] J. R. Wolpaw, N. Birbaumer, D. J. McFarland, G. Pfurtscheller, and T. M. Vaughan, "Brain–computer interfaces for communication and control," *Clinical neurophysiology*, vol. 113, no. 6, pp. 767–791, 2002.
- [6] G. Schalk, D. J. McFarland, T. Hinterberger, N. Birbaumer, and J. R. Wolpaw, "Bci2000: a general-purpose brain-computer interface (bci) system," *Biomedical Engineering, IEEE Transactions on*, vol. 51, no. 6, pp. 1034–1043, 2004.
- [7] C. Guger, A. Schlogl, C. Neuper, D. Walterspacher, T. Strein, and G. Pfurtscheller, "Rapid prototyping of an eeg-based brain-computer interface (bci)," *Neural Systems and Rehabilitation Engineering, IEEE Transactions on*, vol. 9, no. 1, pp. 49–58, 2001.
- [8] J. L'evesque, M. Beauregard, and B. Mensour, "Effect of neurofeedback training on the neural substrates of selective attention in children with attention-deficit/hyperactivity disorder: a functional magnetic resonance imaging study," *Neuroscience letters*, vol. 394, no. 3, pp. 216–221, 2006.
- [9] M. Linden, T. Habib, and V. Radojevic, "A controlled study of the effects of eeg biofeedback on cognition and behavior of children with attention deficit disorder and learning disabilities," *Biofeedback and selfregulation*, vol. 21, no. 1, pp. 35–49, 1996.
- [10] J. O. Lubar and J. F. Lubar, "Electroencephalographic biofeedback of smr and beta for treatment of attention deficit disorders in a clinical setting," *Biofeedback and self-regulation*, vol. 9, no. 1, pp. 1–23, 1984.
- [11] T. Fuchs, N. Birbaumer, W. Lutzenberger, J. H. Gruzelier, and J. Kaiser, "Neurofeedback treatment for attention-deficit/hyperactivity disorder in children: a comparison with methylphenidate," *Applied psychophysiology and biofeedback*, vol. 28, no. 1, pp. 1–12, 2003.
- [12] D. C. Hammond, "Neurofeedback treatment of depression and anxiety," *Journal of Adult Development*, vol. 12, no. 2-3, pp. 131–137, 2005.
- [13] S. Wang, Y. Zhao, S. Chen, G. Lin, P. Sun, and T. Wang, "Eeg biofeedback improves attentional bias in high trait anxiety individuals," *BMC neuroscience*, vol. 14, no. 1, p. 115, 2013.
- [14] K. P. Thomas, A. Vinod, and C. Guan, "Enhancement of attention and cognitive skills using eeg based neurofeedback game," in *Neural Engineering (NER), 2013 6th International IEEE/EMBS Conference on*. IEEE, 2013, pp. 21–24.

-
- [15] J. Gomez-Pilar, R. Corralejo, L. Nicolas-Alonso, D. Alvarez, and R. Hornero, "Assessment of neurofeedback training by means of motor imagery based-bci for cognitive rehabilitation," in *Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC), 2014 36th Annual International Conference of the IEEE. IEEE*, 2014, pp. 3630–3633.
- [16] B. Xia, Q. Zhang, H. Xie, and J. Li, "A neurofeedback training paradigm for motor imagery based brain-computer interface," in *Neural Networks (IJCNN), The 2012 International Joint Conference on. IEEE*, 2012, pp. 1–4.
- [17] F. De la Pena Olvera, E. B. Pérez, L. A. Rohde, L. R. P. Duran, P. Z. Ramírez, R. E. U. Flores, A. M. Isaac, A. Murguía, R. Pallia, and M. Larraguibel, "Algoritmo de tratamiento multimodal para escolares latinoamericanos con trastorno por déficit de atención con hiperactividad (tdah)," *Salud Mental*, vol. 32, pp. S17–S29, 2009.
- [18] J. Palacio, M. Ruiz-García, J. Bauermeister, C. Montiel-Navas, G. C. Henao, and G. Agosta, "Algoritmo de tratamiento multimodal para preescolares latinoamericanos con trastorno por déficit de atención con hiperactividad (tdah)," *Salud Mental*, vol. 32, no. 1, pp. 3–16, 2009.
- [19] M. Loro-López, J. Quintero, N. García-Campos, B. Jimenez-Gomez, F. Pando, P. Varela-Casal, J. Campos, and J. Correas-Laufer, "Actualización en el tratamiento del trastorno por déficit de atención/hiperactividad," *Rev Neurol*, vol. 49, no. 5, pp. 257–264, 2009.
- [20] Y. Solovieva, A. M. Esquivel, and L. Q. Rojas, "Vías de corrección alternativa para el trastorno de déficit de atención en la edad preescolar," *Revista CES Psicología*, vol. 7, no. 1, pp. 95–112, 2014.
- [21] A. Philipsen, "Psychotherapy in adult attention deficit hyperactivity disorder: implications for treatment and research," *Expert Review of Neurotherapeutics*, vol. 12, no. 10, pp. 1217–25, 10 2012.
- [22] F. J. Romero Naranjo, "Fundamentos de la percusión corporal como recurso para la estimulación cognitiva, atención y memoria-método bapne," 2015.
- [23] A. C. Lear, "Virtual reality provides real therapy," *Computer Graphics and Applications, IEEE*, vol. 17, no. 4, pp. 16–20, 1997.
- [24] A. S. Carlin, H. G. Hoffman, and S. Weghorst, "Virtual reality and tactile augmentation in the treatment of spider phobia: a case report," *Behaviour research and therapy*, vol. 35, no. 2, pp. 153–158, 1997.
- [25] A. Garcia-Palacios, H. Hoffman, A. Carlin, T. u. Furness, and C. Botella, "Virtual reality in the treatment of spider phobia: a controlled study," *Behaviour research and therapy*, vol. 40, no. 9, pp. 983–993, 2002.
- [26] E. Klinger, P. L'égeron, S. Roy, I. Chemin, F. Lauer, and P. Nugues, "Virtual reality exposure in the treatment of social phobia." *Studies in health technology and informatics*, vol. 99, pp. 91–119, 2003.
- [27] E. Klinger, S. Bouchard, P. L'égeron, S. Roy, F. Lauer, I. Chemin, and P. Nugues, "Virtual reality therapy versus cognitive behavior therapy for social phobia: A preliminary controlled study," *Cyberpsychology & behavior*, vol. 8, no. 1, pp. 76–88, 2005.
- [28] B. O. Rothbaum, L. Hodges, B. A. Watson, G. D. Kessler, and D. Opdyke, "Virtual reality exposure therapy in the treatment of fear of flying: A case report," *Behaviour Research and Therapy*, vol. 34, no. 5, pp. 477–481, 1996.

- [29] B. K. Wiederhold and M. D. Wiederhold, *Virtual reality therapy for anxiety disorders: Advances in evaluation and treatment*. American Psychological Association, 2005.
- [30] T. D. Parsons and A. A. Rizzo, "Affective outcomes of virtual reality exposure therapy for anxiety and specific phobias: A meta-analysis," *Journal of behavior therapy and experimental psychiatry*, vol. 39, no. 3, pp. 250–261, 2008.
- [31] A. Choo and A. May, "Virtual mindfulness meditation: Virtual reality and electroencephalography for health gamification," in *Games Media Entertainment (GEM)*, 2014 IEEE. IEEE, 2014, pp. 1–3.
- [32] P. Brunner, L. Bianchi, C. Guger, F. Cincotti, and G. Schalk, "Current trends in hardware and software for brain–computer interfaces (bcis)," *Journal of neural engineering*, vol. 8, no. 2, p. 025001, 2011.
- [33] C. Brunner, G. Andreoni, L. Bianchi, B. Blankertz, C. Breitwieser, S. Kanoh, C. A. Kothe, A. L'ecuyer, S. Makeig, J. Mellinger et al., "Bci software platforms," *Towards Practical Brain-Computer Interfaces*, pp. 303–331, 2013.
- [34] Greenberg, L. M., Kindschi, C. L., Dupuy, T. R., & Hughes, S. J. (2007). *TOVA clinical manual*. Los Alamitos, CA: TOVA Company.