

# Realistic Video Games for BCI Aimed at Neurofeedback-Based Cognitive Rehabilitation Therapies

Pedro Paulucci, Carolina Carrere L. and Carolina Beatriz Tabernig

*Laboratorio de Ingeniería en Rehabilitación e Investigaciones Neuromusculares,  
Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Entre Ríos.*

**Abstract**— Cognitive rehabilitation of young patients with attention deficit hyperactivity disorder (ADHD) consists of behavioural and pharmacological therapies, which present disadvantages. It is necessary to develop new therapeutic methods, such as alternatives based on Brain-Computer Interfaces (BCI). BCI record the electric brain activity of the patient using the electroencephalogram (EEG) and process it to give a feedback, which is known as neurofeedback.

In this work a software was developed to be used as neurofeedback in a BCI intended for ADHD therapy. The software is formed by 3 realistic 3D video games, in which the speed of the animated character is controlled by the BCI through the theta/beta ratio, an index of the attention level. This value is augmented in people with ADHD. Therefore, the patient will need to concentrate to win the game, which could tend to normalize his/her brain activity.

The free cross-platform game engine Unity3D was used for the software development. The communication between the software and the BCI was enabled through the TCP/IP protocol and successfully tested in a technical assessment. This stage involved controlling the software by sending a theta/beta ratio simulated value. An acceptability assessment was conducted by surveying 5 therapists who showed an enthusiastic response.

It is concluded that the software could be used as neurofeedback in a BCI for cognitive rehabilitation for ADHD young patients, which could greatly benefit their daily life.

**Keywords**— Brain-Computer interfaces, neurofeedback, cognitive rehabilitation.

**Resumen**— Para la rehabilitación cognitiva de pacientes jóvenes con déficit de atención con hiperactividad (TDAH) se utilizan terapias conductuales y farmacológicas, las cuales presentan desventajas. Es necesario entonces el desarrollo de nuevos métodos terapéuticos como los basados en Interfaces Cerebro-Computadora (BCI, por *Brain-Computer Interfaces en inglés*). Las BCI registran la actividad eléctrica cerebral del paciente a través del electroencefalograma (EEG) y la procesan para brindarle una realimentación de esta (conocida como *neurofeedback*, en inglés).

En el presente trabajo se desarrolló un software para ser utilizado como *neurofeedback* en una BCI para el tratamiento del TDAH. Está constituido por 3 videojuegos realistas en 3D, en los cuales la velocidad de avance del personaje animado es controlada por la BCI mediante la razón theta/beta del EEG, indicador del nivel de atención. Este valor se ve incrementado en personas con TDAH. Por lo tanto, el paciente deberá concentrarse para ganar el juego, lo que normalizaría su actividad cerebral.

Para el desarrollo se utilizó la plataforma libre para desarrollo de juegos Unity3D. La comunicación del software con la BCI fue realizada mediante el protocolo de comunicación TCP/IP y comprobada exitosamente en la etapa de evaluación técnica. En dicha etapa también se verificó el óptimo control de los videojuegos a través del envío de un valor theta/beta simulado. Se realizó una evaluación de aceptabilidad mediante encuestas a 5 terapistas quienes mostraron gran entusiasmo evidenciado en los resultados.

Se concluye que el software podría ser utilizado como *neurofeedback* en una BCI para rehabilitación cognitiva de jóvenes con TDAH, lo cual traería grandes beneficios a su vida cotidiana.

**Palabras clave**— Interfaces cerebro-computadora, neurofeedback, rehabilitación cognitiva.

## I. INTRODUCCIÓN

El trastorno por déficit de atención con hiperactividad (TDAH) es una disfunción neurobiológica que afecta alrededor del 8.4% de los niños y jóvenes en edad escolar en el mundo y al 2.5% de adultos [1]. Los pacientes con esta patología presentan dificultades en mantener la atención en una tarea y en su organización, hiperactividad e impulsividad, lo que trae aparejado un mal desempeño escolar, inconvenientes en la realización de las tareas académicas y cotidianas y problemas en la socialización [1]. Existen diversas terapias conductuales y farmacológicas, en

donde se busca la disminución de los síntomas y la normalización de las conductas alteradas. Las primeras han demostrado ser efectivas, pero los resultados no se mantienen al largo plazo, mientras que las segundas actúan de forma rápida, pero traen aparejados diversos efectos secundarios [2]. Es necesario entonces el desarrollo y la aplicación de nuevos métodos terapéuticos complementarios que no presenten dichos inconvenientes. Entre estos se encuentran los basados en realimentación neurológica, conocida como *neurofeedback* (por su expresión en el idioma inglés), que es la representación de la actividad

eléctrica cerebral del paciente en tiempo real, la cual es realimentada al mismo mediante información visual. De esta forma, el paciente es capaz de aprender a regular su propia actividad cerebral [2] [3].

Para llevar adelante una terapia basada en *neurofeedback* pueden utilizarse las interfaces cerebro-computadora (BCI, del inglés Brain-Computer Interfaces). Una BCI es un sistema que en tiempo real registra la actividad del sistema nervioso central (SNC), extrae sus características más relevantes para una aplicación en particular y genera una señal de comando que se transmite a un dispositivo actuador, buscando mejorar, reemplazar, restaurar, aumentar o suplementar las salidas naturales del SNC [4].

Como puede observarse en la Fig. 1, las BCI están constituidas por: el usuario, persona que opera el dispositivo conectado a la BCI controlando su actividad cerebral para producir las salidas adecuadas; el bloque de sensado y acondicionamiento, en el cual se registra la señal de EEG y se la acondiciona mediante amplificación y filtrado; el extractor de características, que transforma la señal del bloque anterior en un vector de características que contiene información del mecanismo neurofisiológico de interés; el clasificador, que convierte el vector de características del bloque anterior en una señal de comando; y el actuador, software o hardware comandado por el clasificador que brinda la realimentación al usuario (*neurofeedback*).

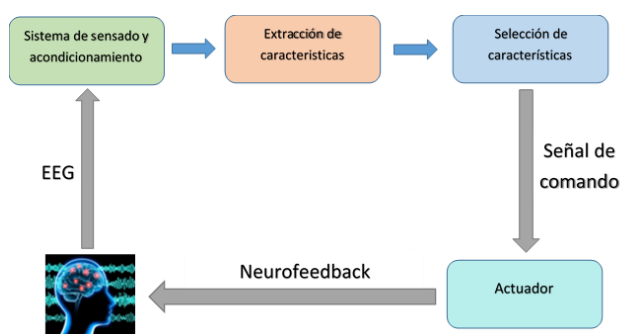


Fig. 1: Diagrama en bloques de una BCI y su relación con el neurofeedback.

La forma más común y de menor costo de registrar la actividad eléctrica cerebral es el electroencefalograma (EEG). Los jóvenes con TDAH presentan hipoactividad en la región frontal y medial de la corteza cerebral. Por este motivo, en la realización de tareas cognitivas estos pacientes presentan un aumento en la actividad del ritmo theta (4 a 7.5 Hz) y una disminución en la actividad del ritmo beta (14 a 30 Hz), contrario a lo que ocurre en personas sanas, entendiéndose como actividad a la amplitud de estos ritmos. Por este motivo, las personas con TDAH poseen una razón theta/beta elevada [5]. Las terapias basadas en *neurofeedback* buscan normalizar estos ritmos patológicos. Algunas utilizan la razón theta/beta como un indicador del nivel de atención del paciente sobre la tarea que está siendo realizada [2] [6].

Una forma muy empleada para realimentar la información de la actividad en estas terapias basadas en *neurofeedback* es mediante videojuegos desarrollados en entornos de realidad virtual. Estos ayudan a que el usuario se mantenga entretenido y motivado durante las sesiones. Los cambios en la actividad cerebral que son considerados positivos son recompensados y reforzados, mientras que los negativos son penalizados. [7]–[9]

La principal ventaja de la creación de videojuegos en 3D para utilizarlos como actuadores de una BCI para

*neurofeedback* son los escenarios tridimensionales que permiten que el jugador se involucre más en el juego y, por lo tanto, en la terapia. Además, las BCI brindan la posibilidad de controlar los videojuegos mediante la modulación de la actividad cerebral, haciéndolos más interesantes y atrapantes. [10]

Se han desarrollado diversos videojuegos para aplicar *neurofeedback* en pacientes con TDAH. Muñoz y col. [11] utilizaron Unity3D como plataforma de desarrollo. Un parámetro del juego era controlado mediante la razón theta/beta extraída del EEG. Mediante la aplicación en pacientes pudieron comprobarse mejoras académicas y sociales, además de una normalización del EEG. Ochi y col. [7] desarrollaron un videojuego en 2D para el entrenamiento de la atención tanto en jóvenes como en adultos. Mediante pruebas en sujetos encontraron que el promedio del nivel de atención, el período de tiempo en el que la atención se mantiene en un nivel elevado, el tiempo en el que el usuario demora en enfocarse en el juego y el desempeño en el Test de Variables de Atención, que mide la atención de una persona, mejoraron al finalizar las sesiones. En el videojuego realizado por Lim y col. [8] se utilizó inteligencia artificial para extraer las características más significativas del EEG que representaban el estado de atención del paciente. El nivel de atención era utilizado para controlar la velocidad de un personaje animado. Mediante evaluaciones cognitivas en pacientes antes y después de las sesiones observaron mejoras en las evaluaciones post-entrenamiento.

Hasta hoy no se han encontrado desarrollos nacionales de BCI para aplicar terapias con *neurofeedback* en pacientes con TDAH y que utilicen videojuegos con escenarios y situaciones reales de la vida cotidiana, de manera que el paciente ejercite las habilidades sociales alteradas por el trastorno.

En el presente artículo se describe el diseño, desarrollo y evaluación preliminar de un software de animación virtual para ser utilizado en terapias basadas en *neurofeedback* para personas jóvenes con TDAH mediante una BCI. Se desarrollaron tres videojuegos realistas en 3D comandados por la razón theta/beta del EEG del paciente. El valor de este índice de atención es utilizado para variar la velocidad de avance del personaje protagonista del videojuego.

## II. MATERIALES Y MÉTODOS

A continuación, se especifican los requisitos de diseño del software desarrollado, y se exponen las características de la plataforma de desarrollo. También se detallan las evaluaciones técnicas y de usuario realizadas.

### A. Criterios de diseño

Los criterios de diseño fueron planteados con la colaboración de una licenciada en psicopedagogía.

Se propusieron dos tipos de criterios: los terapéuticos, que hacen referencia a la finalidad terapéutica que quiere ser alcanzada, la cual es el tratamiento del déficit de atención, y los técnicos, que apuntan a los requisitos tecnológicos necesarios para aplicar el videojuego en una terapia con BCI.

Para establecerlos se tuvo en cuenta que hay dos tipos de usuarios: pacientes y terapeutas.

#### Requisitos terapéuticos:

Se estableció que:

- El videojuego sea amigable al paciente, el cual presente un avatar que represente un joven y tenga movimientos y actitudes similares a las humanas, con el cual el

paciente interactúe, y escenarios que sean cotidianos y recreen momentos y actividades recreativas de la vida cotidiana;

- el rango etario de los usuarios pacientes sea entre 12 y 17 años;
- se refuerce la concentración en una tarea, que es la principal conducta alterada por el TDAH;
- el parámetro del videojuego más relevante sea modificado por el paciente a través de su concentración;
- se refuercen conductas sociales positivas, las cuales se ven alteradas a consecuencia del TDAH;
- los objetivos del videojuego sean puntuales y alcanzables por el paciente;
- sea desafiante para el paciente, para que este no pierda el interés en la terapia y tenga que esforzarse cada vez más para lograr los objetivos;
- sea motivador para el paciente, reforzando conductas positivas mediante recompensas, pero también penalizando conductas negativas.

#### Requisitos técnicos:

Se planteó que:

- ofrezca al menos 2 videojuegos;
- ofrezca dos personajes, uno femenino y otro masculino;
- despliegue un menú de opciones de uso intuitivo para el usuario terapeuta;
- se comunique en tiempo real con el bloque clasificador de una BCI desarrollado en MATLAB [12];
- la velocidad de avance del personaje animado sea comandada por la BCI mediante la razón theta/beta;
- el personaje animado pueda esquivar obstáculos mediante el uso del teclado
- los gráficos sean realistas.

En la Fig. 2 se muestra en un diagrama de flujo el esquema general del videojuego planteado para el desarrollo de este. En la misma se observan los dos videojuegos: "Carrera" y "Maratón". El mensaje de fin 1 corresponde a un mensaje de recompensa al paciente al lograr el objetivo. El mensaje de fin 2 consiste en un mensaje de refuerzo con el objetivo de alentar y apoyar al paciente para alcanzar el objetivo en un próximo intento.

#### B. Entorno de desarrollo

El entorno de desarrollo utilizado fue el motor de videojuegos Unity3D (*Unity Technologies*, San Francisco, EEUU) en su versión 2018.2.17f1 en el modo personal, que es gratuito y permite acceder a todas las prestaciones. Presenta excelentes gráficos, se programa a través de C#, y tiene una curva de aprendizaje rápida ya que es de uso intuitivo. Los juegos creados en este entorno son compatibles con diversas plataformas como Windows, Android, iOS, Nintendo, PS4, Xbox, entre otras. Cuenta también con una gran variedad de recursos, herramientas y trabajos realizados por diversos desarrolladores. [13]

#### C. Protocolo de comunicación

Dado que el bloque de clasificación de la BCI estaba implementado en MATLAB, los videojuegos desarrollados debían establecer una comunicación con este último. Para recibir los datos en tiempo real de forma rápida y segura, se escogió trabajar con el protocolo TCP/IP. MATLAB fue configurado como servidor y Unity como cliente. [14]

#### D. Evaluación técnica

Se realizó una evaluación técnica con la finalidad de verificar el óptimo funcionamiento de los videojuegos,

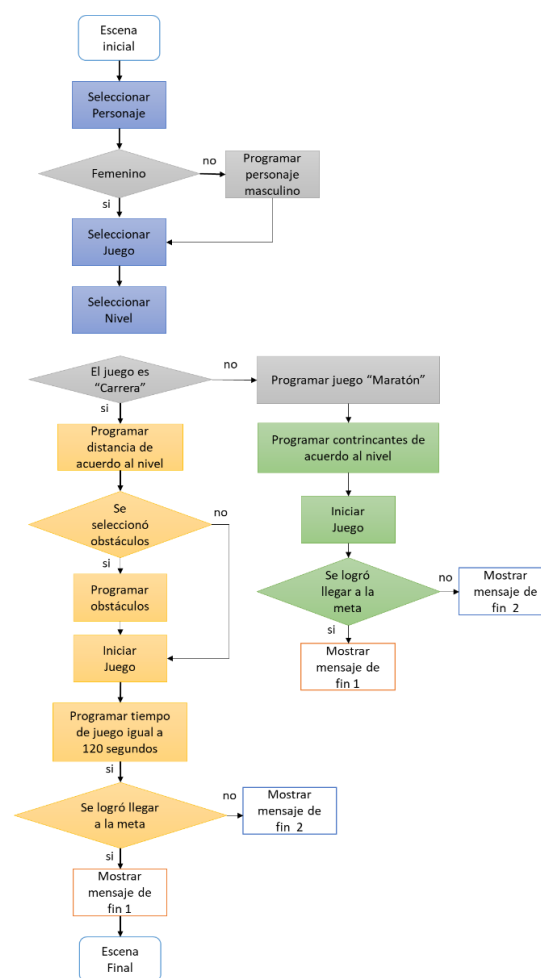


Fig 2. Diagrama de flujo del esquema general del videojuego

comprobando:

- que los movimientos que realizaban los personajes eran los programados;
- que el personaje animado realizaba el movimiento adecuado cuando se presionaba una tecla;
- que los objetivos de cada nivel se alcanzaran cuando se cumplieran las condiciones establecidas (ejemplo: recorrer una distancia en un determinado tiempo);
- que la velocidad de avance del personaje animado variaba de manera proporcional al valor numérico transmitido por MATLAB a Unity;
- que cada botón realice la acción que le fue asignada;
- que la comunicación TCP/IP con MATLAB se realice de forma acertada y rápida, sin que haya un retardo perceptible; y
- que el juego no tuviese errores, como fallas en los movimientos de los personajes y en el camino recorrido por estos, mala iluminación o defectos en las animaciones.

Para llevar adelante esta evaluación se ejecutaron los videojuegos y se abrió una ventana de MATLAB que contenía el código de la comunicación TCP/IP. Se jugaron los 3 videojuegos en todos sus niveles para testear la jugabilidad. Se ingresaron al código de MATLAB números del 1 al 10 por medio del teclado para representar valores normalizados de la razón theta/beta y verificar si se obtenían las modificaciones adecuadas en los videojuegos de forma rápida (imperceptible luego del ingreso de un nuevo número).

### E. Evaluación de usuario

La evaluación de usuario provee un análisis de la performance y calidad del software desarrollado desde el punto de vista del usuario, además de un vistazo general de sus necesidades, emociones y experiencias relacionadas con el uso de este. Los aspectos que se tienen en cuenta en estas evaluaciones son: usabilidad, recepción emocional, ergonomía y calidad de vida [15].

Para llevar adelante esta evaluación se elaboró una prueba o cuestionario de usuario orientado a los terapeutas, que solo consideró el aspecto de usabilidad de todos los mencionados anteriormente. Se presentaron los videojuegos realistas a los usuarios terapeutas, se les pidió que realicen una serie de tareas con el software desarrollado y se tomó nota de los comentarios que realizaron [16]. Las tareas que se les pidió llevar adelante fueron:

- Abrir el juego haciendo doble clic en el ejecutable.
- Elegir un personaje.
- Elegir un videojuego.
- Elegir un nivel.
- Jugar e intentar completar el juego.

Éstas se repitieron para los tres videojuegos.

Luego se les realizó una encuesta. La misma consistió en 11 preguntas que fueron respondidas en rangos conceptuales. Se dejó un espacio para las observaciones que consideraba pertinentes. Estas preguntas refirieron al grado de satisfacción que conllevó el uso del software y cómo consideraban la futura aplicación y aceptabilidad en jóvenes con TDAH.

## III. RESULTADOS

El software desarrollado comprendió 3 videojuegos. En todos ellos se encuentra un personaje animado con apariencia humana que es controlado por el paciente-usuario. El personaje debe correr hacia adelante para cumplir un objetivo que cambia según el videojuego seleccionado. La velocidad de avance del personaje animado será controlada por la BCI para realizar el *neurofeedback*, ya que es proporcional a valores normalizados del 1 al 10 de la razón theta/beta.

Al ejecutar el software se abre una ventana. El primer menú que se visualiza es el de selección de personajes. Estos son dos jóvenes, uno correspondiente al género masculino y otro al femenino, con la finalidad de que los pacientes puedan elegir aquel con el cual sientan más empatía. En la Fig. 3 puede verse una captura de la ventana inicial del software con el menú de selección de personaje.

Una vez realizada la elección se abre un menú de selección de juego, donde se ve al personaje seleccionado y dos botones, uno de los cuales dice *Carrera* y el otro *Maratón*,



Fig. 3: Captura de pantalla del menú de selección de personaje

los cuales hacen referencia a los videojuegos desarrollados. Dentro de *Carrera* se encuentra la opción de elegir entre dos videojuegos: *Carrera con Obstáculos* y *Carrera sin Obstáculos*

Una vez seleccionado un videojuego aparece un menú de selección de niveles que contiene 5 botones correspondientes a diferentes niveles de dificultad. Uno de estos es elegido por el terapeuta dependiendo de los avances que tenga el paciente en la terapia. De esta forma los videojuegos se tornan desafiantes para el paciente, teniendo este que esforzarse más para superar cada nivel.

Una vez elegido el nivel aparece una nueva pantalla la cual varía dependiendo el videojuego seleccionado

### A. Carrera con Obstáculos y Carrera sin Obstáculos

Luego de seleccionar un nivel aparece una nueva pantalla donde puede verse al personaje seleccionado con un texto arriba de él, como puede apreciarse en la Fig. 4. En éste el personaje explica cuál es el objetivo del juego y le pide ayuda al jugador para completarlo, con la finalidad de establecer un vínculo con él para estimular así conductas sociales de colaboración.

En la esquina inferior derecha se encuentran dos botones, uno con el texto *Sin obstáculos* y el otro con el texto *Con obstáculos*, que hacen referencia a dos videojuegos. En el primero el personaje corre hacia adelante en un escenario que representa una plaza, mientras que en el segundo debe además esquivar obstáculos utilizando las flechas del teclado. Se eligió recrear ese escenario ya que representa un ambiente de distensión y ocio para el paciente, lo cual es favorable en la terapia. El objetivo de ambos videojuegos es completar en 120 segundos un recorrido, el cual es más largo cuanto mayor sea el nivel de dificultad.

En los videojuegos se encuentra en la esquina superior derecha el tiempo transcurrido, en la izquierda la distancia recorrida y en el margen derecho una barra que representa la velocidad del personaje. Esta varía en 10 niveles, siendo el 1 cuando está parado y el 10 la mayor velocidad. En la Fig. 5 se encuentra una captura de pantalla del videojuego *Carrera sin Obstáculos*.

Dependiendo si se completa o no el juego, ya sea porque no se recorrió la distancia pretendida a tiempo o porque se colisionó con un obstáculo (en el videojuego *Carrera con Obstáculos*), aparece un menú con un mensaje para el usuario como el que puede verse en la Fig. 6. La finalidad de esto es alentarlos para que llegue al objetivo si es que no lo ha logrado o recompensarlo con un mensaje de aliento si ganó la partida. Este menú cuenta con dos botones, uno con el texto *Play* para volver a jugar, y otro con el texto *Menú* que direcciona al menú de selección de juego.



Fig. 4: Captura de pantalla del mensaje del personaje en videojuegos *Carrera*.



Fig. 5: Captura de pantalla del videojuego *Carrera sin Obstáculos* con personaje masculino.

### B. Maratón

Si se seleccionó el videojuego *Maratón*, luego de elegir un nivel aparece una nueva pantalla en la cual se visualiza al personaje principal elegido y un mensaje sobre él. En este texto el personaje explica al usuario cual es el objetivo del juego, con la misma finalidad que en los videojuegos *Carrera*.

En la partida el personaje elegido debe competir en una maratón. Sus contrincantes son dos jóvenes, uno del género masculino y otro del femenino, con una velocidad predeterminada que varía según el nivel de dificultad seleccionado por el terapeuta. La velocidad del contrincante femenino es siempre mayor que la del contrincante masculino, por lo que el paciente debe concentrarse para pasar no solo a uno, sino a los dos personajes. Se espera que por medio de este videojuego el paciente fomente su capacidad de socialización mediante la competencia sana con otros jóvenes.

El escenario representa un parque, similar al de los videojuegos anteriores y con la misma finalidad. Además, se encuentran espectadores delimitando el camino de la maratón que realizan movimientos alentando a los personajes, con el objetivo de motivar al paciente para que gane el juego. La llegada de la maratón está marcada por una bandera.

En la pantalla del videojuego, cuya captura puede apreciarse en la Fig. 7, la distancia recorrida por el personaje se encuentra en la esquina superior izquierda, en la esquina superior derecha el tiempo transcurrido y en el costado derecho una barra que indica la velocidad del personaje principal. A mayor velocidad, mayor es la longitud de la barra roja. Cuando el personaje llega a la meta aparece una pantalla negra con un texto indicando el puesto alcanzado, es decir, si ha quedado primero, segundo o tercero. La finalidad es recompensar al paciente si es que ganó la partida y alentarle y apoyarlo si no lo ha hecho, para que de esta forma se esfuerce y concentre más la próxima vez. Se encuentran debajo dos botones, uno con el texto *Play* para volver a jugar y otro con el texto *Menú* que direcciona al menú de selección de juego.

### C. Evaluación técnica

Pudo comprobarse:

- que los movimientos que realizaban los personajes eran los programados;
- que el personaje animado realizaba el movimiento correcto cuando se presionaba una tecla;
- que los objetivos de cada nivel se alcanzaban en las condiciones adecuadas;



Fig. 6: Captura de pantalla del mensaje mostrado en videojuegos *Carrera* cuando se gana la partida.

- que la velocidad de avance del personaje animado variaba proporcionalmente con valor numérico transmitido de MATLAB a Unity;
- que los botones de los videojuegos realizan las acciones programadas;
- que la comunicación TCP/IP entre el software desarrollado y MATLAB funciona de forma rápida;
- que el juego no tiene ningún tipo de error.

Con esta información pudo verificarse que los videojuegos se encontraban listos para utilizarse en una BCI.

### D. Evaluación de usuario

Se realizó la evaluación con una encuesta semiestructurada de preguntas abiertas, a dos psicopedagogas y tres psicólogas que trabajaban en el tratamiento de niños y jóvenes con TDAH.

Todas las encuestadas mostraron interés por el software y mencionaron que sería posible el uso en jóvenes con TDAH, manifestando una gran motivación por aplicarlo en sus terapias en el futuro.

Algunas de las encuestadas propusieron pequeñas mejoras para aplicar a los videojuegos, las cuales fueron: agregar voz al personaje principal, añadir efectos visuales a los mensajes presentados al finalizar cada juego y adicionar una mayor diversidad de escenarios y personajes animados. Además, recomendaron que todos los textos estén en mayúsculas para mejor comprensión de los pacientes con déficit de atención.

## IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

En el presente trabajo se desarrolló un software constituido por tres videojuegos realistas en 3D que funcionará como actuador de una BCI para aplicar entrenamiento con *neurofeedback* a jóvenes con TDAH, el



Fig.7: Captura de pantalla del videojuego *Maratón* con personaje masculino.

cual cumple con los requisitos de diseños que fueron planteados.

Los videojuegos desarrollados comparten varias características con trabajos realizados por otros grupos de investigación. La principal es que nivel de atención del usuario se utiliza como comando fundamental en el juego, al igual que en los desarrollos de P. Israsena y col. [6], Y. Ochi y col. [7], C. G. Lim y col. [8] y J. E. Munoz y col. [11]. En este trabajo se escogió utilizar la razón theta/beta para realizar el *neurofeedback* ya que es el índice de concentración que presenta mayor discriminabilidad en el EEG entre personas sanas y personas con TDAH y que se encuentra directamente relacionado con las características neurofisiológicas del trastorno. El parámetro del juego que es comandado por la BCI es la velocidad del personaje principal, al igual que en los desarrollos de P. Israsena y col. [6] y C. G. Lim y col. [8]. De esta forma el paciente deberá llevar adelante estrategias mentales para acrecentar su nivel de atención y aumentar la velocidad del personaje, lo que normalizaría su actividad cerebral. La BCI se comunicaría con los videojuegos por medio del protocolo TCP/IP.

Los gráficos empleados en el software son en 3D, como en los trabajos de P. Israsena y col. [6], C. G. Lim y col. [8] y J. E. Munoz y col. [11]. Cómo característica novedosa, los gráficos utilizados en los videojuegos son realistas. Los escenarios aparentan un parque con personas disfrutando del aire libre, viéndose el paciente inmerso en una atmósfera amigable, que representa un momento de ocio y distensión. Además, los personajes principales con los cuales el usuario paciente interactúa tienen apariencia de jóvenes adolescentes y cuentan con movimientos realistas, por lo que el paciente sentirá afinidad y empatía por ellos, ya que lo verán como un amigo o compañero. Esto también reforzará las habilidades sociales de cooperación y socialización. Se desarrollaron diferentes niveles de dificultad, al igual que el videojuego diseñado por Y. Ochi y col. [7]. Esto tiene por finalidad de que el jugador no pierda el entusiasmo por la terapia.

El software desarrollado presenta otros aspectos innovadores: los personajes interactúan con los usuarios mediante la presentación de mensajes, lo que estimula habilidades de cooperación y compañerismo; se muestran mensajes al finalizar cada juego, recompensado al paciente si gana y motivándolo si pierde, reforzando conductas positivas; aparecen otros personajes en los escenarios, lo que traería ventajas en la socialización del paciente. Los objetivos del juego son de fácil entendimiento para los pacientes. Además, el menú de opciones es sencillo y fácil de utilizar para el terapeuta.

En base a las encuestas desarrolladas y a las reacciones de las encuestadas en el momento que se les presentaba el software, pudo notarse que cuenta con una gran aceptabilidad. Todas se vieron muy motivadas en su utilización y mostraron buenas expectativas en los futuros resultados que tendrá en las terapias. Las recomendaciones

brindadas serán tenidas en cuenta para futuras versiones del videojuego.

Por lo planteado anteriormente se piensa que el software desarrollado podrá ser utilizado en las terapias basadas en *neurofeedback*, acarreando beneficios para los pacientes. En un futuro se diseñará la BCI para comandar los videojuegos. Además, se desarrollarán más versiones de los videojuegos con las mejoras recomendadas. Una vez funcionando el software desarrollado con la BCI, se realizarán pruebas en personas sanas y luego en pacientes, evaluando la mejora que brinda el sistema en las terapias y en su vida cotidiana.

## V. REFERENCIAS

- [1] American Psychiatric Association, "DSM V," *J. Dev. Behav. Pediatr.*, 2013.
- [2] U. Leins, G. Goth, T. Hinterberger, C. Klinger, N. Rumpf, and U. Strehl, "Neurofeedback for children with ADHD: A comparison of SCP and Theta/Beta protocols," *Appl. Psychophysiol. Biofeedback*, vol. 32, no. 2, pp. 73–88, 2007.
- [3] C. Neuper and G. Pfurtscheller, "Neurofeedback Training for BCI Control," B. Graimann, G. Pfurtscheller, and B. Allison, Eds. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2009, pp. 65–78.
- [4] J. R. Wolpaw and E. W. Wolpaw, "Something new under the sun," in *Brain-Computer Interfaces: Principles and Practice Oxford University Press*, 2012, pp. 3–14.
- [5] J. F. Lubar and J. O. Lubar, "Neurofeedback Assessment and Treatment for Attention Deficit/Hyperactivity Disorders," in *Introduction To Quantitative EEG and Neurofeedback*, 1999.
- [6] P. Israsena, S. Hemrungronj, N. Sukwattanasinit, and M. Maes, "Development and Evaluation of an Interactive Electro-Encephalogram-Based Neurofeedback System for Training Attention and Attention Defects in Children," *J. Med. Imaging Heal. Informatics*, vol. 5, no. 5, pp. 1045–1052, 2015.
- [7] Y. Ochi, T. Laksanasopin, B. Kaewkamnerdpong, and K. Thanasuan, "Neurofeedback game for attention training in adults," *BMEiCON 2017 - 10th Biomed. Eng. Int. Conf.*, vol. 2017–Janua, pp. 1–5, 2017.
- [8] C. G. Lim *et al.*, "A Brain-Computer Interface Based Attention Training Program for Treating Attention Deficit Hyperactivity Disorder," *PLoS One*, vol. 7, no. 10, 2012.
- [9] D. Z. Blandon, J. E. Munoz, D. S. Lopez, and O. H. Gallo, "Influence of a BCI neurofeedback videogame in children with ADHD. Quantifying the brain activity through an EEG signal processing dedicated toolbox," in *2016 IEEE 11th Colombian Computing Conference (CCC)*, 2016, pp. 1–8.
- [10] F. Putze, "Methods and Tools for Using BCI with Augmented and Virtual Reality," in *Brain Art*, Springer International Publishing, 2019, pp. 433–446.
- [11] J. E. Munoz, D. S. Lopez, J. F. Lopez, and A. Lopez, "Design and creation of a BCI videogame to train sustained attention in children with ADHD," *2015 10th Colomb. Comput. Conf. 10CCC 2015*, pp. 194–199, 2015.
- [12] The MathWorks, "MATLAB." [Online]. disponible: <https://www.mathworks.com/products/matlab.html>. [Accessed: 07-Jun-2019].
- [13] Unity Technologies, "Unity webpage." [Online]. Available: <https://unity.com/es>. [Accessed: 07-Jun-2019].
- [14] C. Claucich, C. Carrere, and C. Tabernig, "Interfaz de Realidad Virtual Basada en Unity3D para Rehabilitación con Sistemas BCI por Imaginería Motora," 2018.
- [15] D. E. Thompson *et al.*, "Performance measurement for brain-computer or brain-machine interfaces: A tutorial," *J. Neural Eng.*, vol. 11, no. 3, 2014.
- [16] J. H. Montero, S. O. Santamar, and I. Apei, *Informe APEI Sobre Usabilidad*. 2009.