

## **Videojuegos como herramientas para la rehabilitación física, neuro-rehabilitación y el entrenamiento cognitivo. Experiencia del Human Computer Interaction Group**



**David Sebastián Lopez Ospina**

**Tutores: Ph.D Oscar Henao Gallo**

**Profesor asociado facultad de ingenierías**

**Ph.D © John Muñoz Cardona**

**M-iti, Madeira Interactive Technologies Institute, Portugal**

**Universidad Tecnológica de Pereira**

**Facultad de ingeniería**

**Programa de Ingeniería de Sistemas y Computación**

**Pereira**

**2018**



1.	Resumen	3
2.	Objetivos	4
2.1	Objetivo general	4
2.2	Objetivos específicos	4
3.	Introducción	5
3.1	Interacción humano computador (HCI)	5
3.2	Interfaces cerebro computador (BCI)	5
3.3	Realidad virtual (VR)	7
3.4	Videojuegos para la salud (G4H)	7
4.	Metodología para la Creación de Videojuegos Serios en Salud	9
a)	Acordar con claridad y objetividad el problema a resolver:	9
b)	Acordar una teoría o teorías sobre cómo resolverla:	9
c)	Encontrar las medidas correctas:	9
d)	Proporcionar una estructura para alcanzar los objetivos de investigación:	9
e)	Pensar en el diseño de la investigación:	10
f)	Comprometer al grupo objetivo:	10
g)	Consideraciones de seguridad:	10
5.	Tecnologías Interactivas Usadas	11
5.1	Sensor Kinect (Captura de Movimiento)	11
5.2	MindWave (Wearable BCI)	11
5.3	Emotiv EPOC (Wearable BCI)	12
5.4	HTC Vive (Gafas de Realidad Virtual)	13
5.5	VR mobile	14
5.6	Unity 3D	14
6.	Videojuegos Creados	15
6.1	Karate Rehab (Rehabilitación del miembro superior)	15
6.2	Virtual Balance (Equilibrio Dinámico)	16
6.3	BKI: Cognitive Balance (Equilibrio estático)	18
6.4	<i>BCI Duck Hunt</i> – Neuro-rehabilitación con interface cerebro computador	20
6.5	Desafío Cosecha v1.0	22
7.	Discusión	33
8.	Trabajos Futuros	34
9.	Conclusiones	34
	Bibliografía	35

# 1. Resumen

Los videojuegos son un área que evoluciona constantemente y se diversifica. Con esa diversificación los ellos han encontrado espacios nuevos donde pueden ser usados para objetivos mayores al mero entretenimiento. Así nacen los videojuegos serios (*serious games*) los cuales podríamos dividir en dos grandes grupos: los videojuegos para la educación y el entrenamiento, y los videojuegos para la salud. Desde el año 2012, investigadores de las facultades en Ciencias de la Salud (medicina y ciencias del deporte) e Ingenierías (sistemas y física) crearon el Human Computer Interaction Group (HCI Group), <sup>1</sup>un grupo multidisciplinar que se enfocó en diseñar y desarrollar tecnologías interactivas aplicadas en salud. *Este trabajo tiene como objetivo describir el proceso de diseño, desarrollo y validación de cuatro videojuegos serios aplicados en áreas de la rehabilitación física, la neuro-rehabilitación y el entrenamiento cognitivo.* Específicamente, describe el papel del desarrollador dentro del equipo multidisciplinar de investigación. Los videojuegos desarrollados utilizaron múltiples tecnologías de interacción como las de captura de movimiento (*MoCap*), interfaces cerebro computador (BCI) y realidad virtual (VR). Los videojuegos desarrollados son: *Karate Rehab* (rehabilitación miembro superior), *Virtual Balance* (entrenamiento del equilibrio y atención), *BCI Duck Hunt* (neuro-rehabilitación accidente cerebro vascular) y *Desafío Cosecha* (entrenamiento cognitivo atención sostenida). Estos videojuegos han sido implementados en tratamientos en la Unidad de Acción Motora de la Clínica del Dolor del Eje Cafetero y el Instituto de Audiología Integral de Pereira como complemento a las terapias convencionales.

Para su implementación se utilizó la metodología de diseño publicada y ampliamente documentada por Pamela Kato, consistente en siete pasos: i) acordar con claridad y objetividad el problema a resolver; ii) acordar una teoría o teorías sobre cómo resolverla; iii) encontrar las medidas correctas; iv) proporcionar una estructura para alcanzar los objetivos de investigación; v) pensar en el diseño de la investigación; vi) comprometer al grupo objetivo; vii) considerar factores de riesgo y seguridad. Un total de siete artículos publicados en conferencias nacionales e internacionales especializados, un premio internacional (finalista internacional *MIT under 35* otorgado a John Muñoz<sup>2</sup>)<sup>3</sup> de innovación y un repositorio de los videojuegos desarrollados son presentados como resultados del impacto científico generado a partir de los videojuegos serios en salud. Se muestra que los videojuegos para la salud se convierten en el enfoque tecnológico de la rehabilitación física, la neuro-rehabilitación y el entrenamiento cognitivo que suple las necesidades evidenciadas en los usuarios al momento de hacer la terapia, estimulando a través del juego y la competencia la rehabilitación.

---

<sup>1</sup> <http://hcigroup.com.co>

<sup>2</sup> <https://www.innovatorsunder35.com/the-list/john-edison-munoz/>

<sup>3</sup> <https://www.youtube.com/watch?v=bMWxHSN1HzE&t>

## 2. Objetivos

### 2.1 Objetivo general

Documentar el proceso de diseño, creación y validación de cuatro videojuegos serios aplicados en salud creados en el *HCI Group*.

### 2.2 Objetivos específicos

1. Describir las metodologías, tecnologías y técnicas usadas para el desarrollo de los videojuegos serios.
2. Discutir los desafíos existentes y los trabajos futuros en el campo de las tecnologías interactivas, la interacción humano computador y los videojuegos serios aplicados en las áreas de rehabilitación física, neuro-rehabilitación y entrenamiento cognitivo.

## 3. Introducción

### 3.1 Interacción humano computador (HCI)

Hace décadas desde que el primer computador digital fue desarrollado usando interruptores mecánicos y tableros de conexión, los dispositivos por medio de los cuales intercambiamos información con los computadores han evolucionado [1]. A pesar del paso de los años, algunos periféricos tradicionales como el teclado y el ratón han resistido firmemente con el paso del tiempo, evolucionando en su tamaño, ergonomía, y modo de conexión, más no en la esencia de su funcionalidad. Como los computadores han incrementado en su potencia de procesamiento y han disminuido en tamaños y costos[2], nuevos dispositivos se han ido creando para satisfacer las nuevas necesidades del usuario en un mercado creciente de tecnología (ej. Smartphones, tabletas electrónicas, PDAs), nuevas plataformas de información han nacido (ej. internet), servicios antes restringidos se han vuelto ampliamente disponibles (ej. GPS) y nuevas industrias han surgido (ej: videojuegos, tecnologías interactivas). Todas estas tendencias han dado lugar a la diversificación de la información a medida que el número de personas que interactúan directamente con los ordenadores se ha incrementado; cambiando notablemente la forma en que se desenvuelve la sociedad moderna en los ámbitos sociales, laborales, académicos, entre otros[3].

Basado en lo anterior, la creación de computadores fáciles de usar y el entendimiento de cómo ellas afectan a las personas, se convierte en una actividad crítica. La Interacción Hombre-Computador (HCI por sus siglas en inglés) es una disciplina diseñada para proporcionar la base teórica por medio de la cual se crean tecnologías con las cuales las personas puedan interactuar con los computadores; una tecnología cada vez más eficiente, portable y agradable para el usuario final. Entre estos desarrollos se encuentran herramientas de software para interfaces de usuario, modelos cognitivos, reconocimiento de voz, lenguajes de entendimiento natural, computación gráfica, reconocimiento de gestos, visualización de datos, agentes inteligentes, diseños de interfaces visuales, multimedia interactiva, drama y música computarizados, tutores inteligentes, escritura técnica y la organización del impacto social de la tecnología. Básicamente, la interacción humano computador envuelve el diseño, implementación y evaluación de sistemas interactivos en el contexto de la tarea y el trabajo del usuario. La forma en cómo los humanos interactuamos con los computadores ha evolucionado y esta evolución ha permitido a más personas a generar trascendencia con los ordenadores desde el punto de vista tecnológico[4].

### 3.2 Interfaces cerebro computador (BCI)

En el marco de la interacción, han sido múltiples los dispositivos e interfaces creadas para la captura de las diferentes señales provenientes de cualquier manifestación humana, como los movimientos, las intenciones musculares, los gestos corporales y faciales, inclusive hasta los pensamientos y las señales neuronales que se manifiestan mediante señales bioeléctricas[5]. Estas últimas comenzaron a ser investigadas durante la década del 60. Cuando el Dr. Grey Walter conectó electrodos directamente en las áreas motoras del cerebro de un paciente. Al paciente se le pidió que presionara un botón para avanzar una diapositiva proyectada mientras el Dr. Walter grababa la actividad relevante del cerebro del paciente; poco después, el mismo doctor conectó el sistema directamente al proyector de diapositivas, de manera que la actividad cerebral registrada por el paciente era suficiente para activar la orden de pasar de diapositiva.[6] De forma interesante el Dr. Walter encontró que se había introducido un retardo desde la detección de la actividad cerebral hasta el avance de la diapositiva proyectada, o sea, la

diapositiva avanzaba antes que el paciente presiona el botón. *El control se daba antes que el movimiento pasara: un nuevo tipo de interacción estaba naciendo.* De manera general, cualquier forma natural de comunicación o control requiere periféricos que capturan la actividad nerviosa y/o muscular, el proceso comienza con el intento del usuario. El intento desencadena un complejo proceso en el cual ciertas áreas cerebrales son activadas y entonces las señales son enviadas mediante el sistema nervioso periférico a los correspondientes músculos, los cuales a su vez realizan el movimiento necesario para la tarea de comunicación o de control[7].

La actividad resultante de este proceso es a menudo llamada salida eferente o motora. Eferente significa que contiene impulsos que se transportan desde el sistema nervioso central hasta el actuador o músculo[8]. En contraste, un proceso aferente describe la comunicación en la otra dirección, desde los receptores sensoriales hasta el sistema nervioso central. Una interfaz cerebro computador ofrece una alternativa de comunicación y control natural entre el cerebro y dispositivos externos, se define como la ciencia y la tecnología de dispositivos y sistemas de respuesta a los procesos neuronales en el cerebro que generan movimientos motores y procesos cognitivos. Los avances en la neurociencia, la tecnología computacional, la miniaturización de componentes, biocompatibilidad de los materiales, y tecnología de sensores han conducido a una gran viabilidad en la mejora de las BCI, en donde los ingenieros, neurocientíficos, científicos físicos y los científicos sociales y del comportamiento puede integrarse como un equipo de gran alcance[9]. En lugar de depender de señales nerviosas o musculares, una BCI mide directamente la actividad cerebral asociada con la intención del usuario y traduce esta actividad grabada en señales correspondientes de control para diferentes aplicaciones. Algunas de las definiciones y características más destacadas de una BCI se encuentran plasmadas[10]:

- ❖ Una interfaz cerebro computador (BCI) es un sistema basado en adquirir señales cerebrales mediante un ordenador, analizarlas y traducirlas en comandos que son retransmitidos a un dispositivo de salida para llevar a cabo una acción.
- ❖ En principio, cualquier tipo de señal cerebral puede ser usado para controlar un sistema BCI. Las señales más comúnmente estudiadas son las de tipo eléctrico provenientes de la actividad neuronal por medio de electrodos en el cuero cabelludo, en la superficie cortical o en la corteza cerebral.
- ❖ Un sistema BCI consta de 4 componentes secuenciales: (1) adquisición de la señal; (2) extracción de características; (3) interpretación de las características; (4) dispositivo de salida. Estos cuatro componentes son controlados mediante un protocolo de operación que define el inicio y tiempo de operación, los detalles del procesamiento de la señal, la naturaleza de los comandos del dispositivo y la supervisión del rendimiento[7].
- ❖ Las interfaces cerebro computador eventualmente pueden utilizarse de forma rutinaria para reemplazar o restaurar la función útil de personas con discapacidades graves que se dan debido a trastornos neuromusculares. Una BCI también podría mejorar la rehabilitación de personas con ACV (Accidente Cerebro-Vascular), trauma craneal y otros trastornos.
- ❖ El futuro de las BCIs depende a su vez del progreso de tres áreas o aspectos críticos: desarrollo de hardware cómodo, conveniente y de adquisición de señal estable; la validación y difusión de las interfaces; y la puesta en prueba de la fiabilidad y la calidad de las BCI por parte de diferentes grupos de usuarios.

La motivación prevalente de las BCIs ha sido prever tecnología de tipo asistiva a personas con discapacidades físicas severas, como aquellas que producen parálisis completas e inhabilidades para hablar causadas por golpes o enfermedades crónicas. En algunos casos los sistemas BCI son llamados también interfaces cerebro máquina (BMI por sus siglas en inglés), en general, estos últimos suelen enfocar su aplicación final al manejo de máquinas como sistemas robóticos, prótesis, brazos electrónicos o cualquier otro tipo de máquina. Este par de términos (BCI e BMI) pueden discriminarse similarmente a como se diferencian la visión por computador y la visión de máquina [11].

### 3.3 Realidad virtual (VR)

El término realidad virtual (VR) es utilizado comúnmente para describir mundos imaginarios que solo existen en computadoras y nuestras mentes [12]. Sin embargo, *Sherman y Craig*[13] señalan en su libro *Understanding Virtual Reality que el nuevo Webster's Universal Unabridged Dictionary*[14] define virtual como "ser en esencia o efecto, pero no de hecho" y la realidad como "el estado o calidad del ser" real. Algo que existe independientemente de las ideas al respecto. Algo que constituye una cosa real o real a diferencia de algo que es meramente aparente. Por lo tanto, la realidad virtual es un término que se contradice a sí mismo. Afortunadamente, el sitio web merriam-webster.com ha definido más recientemente el completo término realidad virtual para ser "**un entorno artificial que se experimenta a través de estímulos sensoriales (como imágenes y sonidos) proporcionados por una computadora y en los que las acciones de uno determinan parcialmente lo que sucede en el entorno**". En este libro, la realidad virtual se define como un entorno digital generado por computadora que se puede experimentar e interactuar como si ese entorno fuera real. Un sistema VR ideal permite a los usuarios caminar físicamente alrededor de objetos y tocar esos objetos como si fueran reales. Ivan Sutherland, el creador de uno de los primeros sistemas de realidad virtual del mundo en la década de 1960, afirmó[15]: "**La pantalla definitiva sería, por supuesto, una sala dentro de la cual la computadora puede controlar la existencia de la materia**". Una silla exhibida en una habitación así sería lo suficientemente buena como para sentarse. Las esposas que se exhiben en una habitación así serían confinadas, y una bala exhibida en una habitación así sería fatal. "Todavía no nos hemos acercado a la visión de Ivan Sutherland y quizás nunca lo haremos". Sin embargo, hay algunas realidades virtuales bastante atractivas hoy en día.

### 3.4 Videojuegos para la salud (G4H)

Antes de entender el concepto de videojuego, es importante conocer su origen y la importancia del concepto del juego, principalmente en el contexto del ejercicio físico. De acuerdo con Shaw, Gorely, y Corban[16], el juego es aquel comportamiento de carácter divertido con la finalidad de divertirse y disfrutar la actividad sin ninguna finalidad utilitaria. Con este concepto en mente, enumeran cuatro razones del porqué la gente juega: en primer lugar, el juego le ayuda a la persona a relajarse y a recuperarse, en segundo lugar, el juego puede utilizarse como mecanismo de autocontrol, en tercer lugar, porque el juego es una oportunidad para practicar y aprender nuevas habilidades y por último, el juego puede ser importante para reducir la ansiedad de enfrentarse a ciertos temores en un ambiente seguro. De esta manera, el juego toma forma cuando la competencia está involucrada en la actividad. Por lo tanto, definen al juego como cualquier forma de competición lúdica cuyo resultado está determinado por la destreza física, estrategia o azar.



Es innegable reconocer que el juego ha sido un elemento importante del ser humano en toda la historia de la humanidad, un ejemplo a consideración es la expansión del mercado de los juegos de video o videojuegos al principio de este milenio, y como aspecto revolucionario de este fenómeno se destaca el hecho de que se crearan nuevas plataformas de videojuegos a través de teléfonos celulares, tabletas y/o consolas sin necesidad de usar comandos tradicionales de juego. Como consecuencia de esta revolución estos videojuegos fueron aceptados en poblaciones nuevas (como adultos) gracias su forma de interacción, y por ser y llegar a ser más que un simple entretenimiento[17]. Por lo que, tanto investigadores como desarrolladores de diferentes campos científicos se han realizado la siguiente pregunta, ¿Es posible utilizar videojuegos para algo más que entretenimiento? Como respuesta, surgió el concepto de Serious Games o juegos serios, los cuales se han definido como aquella competencia mental realizada a través de la interacción con un computador de acuerdo con ciertas reglas, a través de la práctica sistemática para promover un entrenamiento empresarial o gubernamental, un objetivo educativo o de salud, una política pública o un cambio de comportamiento [18].

Con este concepto en mente, nació el proyecto “*Games for Health*” (<http://gamesforhealth.org/>) el cual logró enmarcar una taxonomía para la categorización de los juegos para la salud, permitiendo distinguir los diferentes tipos de videojuegos usados para el cuidado y bienestar de un paciente [24]. Ahora bien, una dimensión alternativa interesante acerca de esta taxonomía descrita de los G4H, en la cual se describen tres áreas de impacto como lo son el área de salud física, salud mental y salud social/emocional según[19].

En la actualidad, hay al menos cuatro tipos diferentes de juegos Serios para la Salud [20]. Estos están asociados a cinco componentes básicos: diseño de juego (por ejemplo, los procedimientos de cambio) incorporado en el juego), Conductas determinantes (es decir, influencias en el comportamiento generalmente especificado por Teoría del comportamiento, como la autoeficacia y la actitud), Comportamiento Dirigido (por ejemplo, consumo de vegetales, fumar), precursores específicos de salud (por ejemplo, relajación o reducción de la ansiedad antes de la cirugía),y objetivos específicos de salud (por ejemplo, adiposidad, cáncer de pulmón riesgo, tiempo de recuperación posquirúrgica). Algunos juegos tienen como objetivo principal servir de estudio piloto para ampliar el conocimiento para desarrollos futuros, algunos han sido diseñados para cambiar determinados comportamientos relacionados con la salud, algunos para incorporar nuevos comportamientos (por ejemplo, actividad física) [21].

Las características del diseño de los juegos atractivos para todas las edades incluyen lo siguiente aspectos:

1. Interactividad: la oportunidad de los jugadores de iniciar acciones y recibir información evaluativa sobre sus acciones.[22]
2. Realimentación (*Feedback*): los jugadores reciben información inmediata respecto a su eficacia durante el juego[23].
3. Control: la capacidad del jugador para administrar aspectos de la jugabilidad, como el uso de mecanismos de control o influyendo en la historia del juego.[24]
4. Identidad: la oportunidad del jugador de convertirse en un personaje del juego[25]  
a través de un avatar y / o para formar relaciones y vínculos con personajes del juego.[26]
5. Inmersión: la sensación de presencia, el transporte, o integración dentro del juego.[27],[28].

## 4. Metodología para la Creación de Videojuegos Serios en Salud

El desarrollo de los diferentes videojuegos acá realizados, siguió la metodología propuesta por Pamela Kato[20],[29], en donde se mencionan siete pasos:

### a) Acordar con claridad y objetividad el problema a resolver:

Hay muchos problemas diferentes que un juego serio para la salud podría ser diseñado para resolver. Desde diseñar un juego para ayudar a ancianos con accidente cerebrovascular a rehabilitarse [30] y recuperar el control motor hasta promover el ejercicio entre niños para aumentar la tolerancia al dolor y reducir comportamientos disruptivos relacionados con este durante procedimientos médicos[31]. Es una buena idea ser muy específico sobre el problema que desea resolver al hacer un juego serio. Primero, este enfoque lo ayudará a hacer una intervención más efectiva. Cuantos más problemas se trate de resolver en una intervención, menos enfoque tendrá que hacer para resolver cualquiera de ellos. A veces hay que sacrificar algunas metas para alcanzar su objetivo. Segundo, esta especificidad lo ayudará a enfocar sus esfuerzos de evaluación en hacer un buen trabajo midiendo resultados específicos de muchas maneras, en lugar de medir muchos resultados de manera limitada.

### b) Acordar una teoría o teorías sobre cómo resolverla:

Las teorías elegidas para el juego serio en la intervención pueden basarse en las causas del problema que debe abordarse. Se debe considerar factores que pueden aumentar el riesgo, la gravedad del problema o reducir la adhesión al tratamiento[32]. El objetivo específico elegido el juego y la teoría o teorías utilizadas para guiar el diseño deben estar asociados a unas mecánicas acordes al público objetivo. Esto debe hacerse como una colaboración esfuerzo entre los equipos de investigación y producción.

### c) Encontrar las medidas correctas:

Se debe ser muy específico en la o las variables que se quieren medir en el videojuego. También se requiere una base confiable de donde se puedan extraer estimaciones de los resultados esperados.

### d) Proporcionar una estructura para alcanzar los objetivos de investigación:

En esta etapa es necesario hacerse las siguientes preguntas

1. ¿Quién es nuestro público objetivo? Será muy importante para describir explícitamente el jugador objetivo del juego en términos de sus datos demográficos.
2. ¿Cuál es el objetivo principal de investigación con el videojuego? Es necesario para centrar los esfuerzos en un solo resultado.
3. ¿Cómo podemos alcanzar esos objetivos a través del juego? La respuesta a esta pregunta se basará en la teoría y la comunicación del investigador con el equipo de desarrollo. Para el investigador es importante tener en cuenta los diferentes sesgos (culturales cognitivos) inherentes al diseño de un videojuego. Por otro lado, los desarrolladores requieren considerar los aspectos teóricos a la hora de implementar las mecánicas de videojuego. Esto significa tener una discusión continua de mecánica y diseño de juego.

#### e) Pensar en el diseño de la investigación:

La idea es que el videojuego represente un tratamiento que un médico puede recomendar a un paciente, el investigador debe estar familiarizado con los criterios generales que usan los médicos. Para eso es importante tener en cuenta el apartado teórico y metodológico como base de la toma de decisiones.

#### f) Comprometer al grupo objetivo:

Es muy importante involucrar su grupo objetivo durante el proceso de desarrollo del juego. Si el desarrollo se centra en un grupo específico. Se debe dar prioridad a la retroalimentación de ese grupo particular. Buscar hacerlos parte del proceso de desarrollo. Esto no solo es bueno para desarrollo de productos, sino que también ayudará a aumentar la adherencia posterior en el grupo objetivo.

#### g) Consideraciones de seguridad:

Queremos saber qué hace y qué no hacer nuestro juego. También queremos saber es si el juego serio que desarrollamos puede afectar negativamente el tratamiento. Esto puede ser una problemática particular para los juegos serios para salud. El público en general tiene una tendencia a generalizar los videojuegos y no diferenciar entre la diversidad de juegos. Ha habido un enfoque particular en los medios sobre la violencia en videojuegos. Por lo que el público puede tener posiciones negativas sobre los videojuegos serios y los videojuegos en general.

Los equipos de desarrollo de videojuego serios para la salud deben considerar estas preocupaciones y los estudios deberían rastrear y abordar estas preocupaciones. También hay una preocupación en el público en general sobre la adicción a los videojuegos (ludopatía). Existe evidencia de que un subgrupo de personas que juegan juegos y tienen una predisposición a las adicciones, pueden mostrar signos de una jugabilidad excesiva que interfiere con el desarrollo funcional de sus vidas. La evaluación del videojuego debería permitir medidas que podrían detectar el uso adictivo del juego o cualquier otro posible efecto secundario negativo relacionado con el uso para que esto pueda ser informado y abordado apropiadamente. También limitar el uso de mecánicas de juego que podría generar adicción (sistemas de puntos, sistemas de recompensa, mecánicas de escasez y coleccionismo...).

## 5. Tecnologías Interactivas Usadas

### 5.1 Sensor Kinect (Captura de Movimiento)

El sensor Kinect es una plataforma de videojuegos adaptable al X-Box 360 creado por Microsoft, el cual brinda una experiencia de juego sin controles, en donde los jugadores sin necesidad de usar ningún tipo de periférico utilizan los movimientos y gestos de su cuerpo, así como su voz para desenvolverse en los diferentes videojuegos[33]. Inicialmente fue desarrollado de *PrimeSense* y posteriormente adquirido por Microsoft, el uso del sensor fue restringido para la consola X-Box 360 en el campo de los videojuegos, sin embargo ante la expectativa de muchos desarrolladores, hackers, artistas visuales e ingenieros de la arquitectura de este dispositivo, tan solo una hora después de su salida comercial en Estados Unidos, un Hacker logró establecer la comunicación entre el sensor y el PC la cual le permitía pre-visualizar en tiempo real la imagen otorgada por el sensor y capturar todos los datos que éste arrojaba. De esta manera, el Hacker liberó los drivers y desde ese momento cientos de desarrolladores en todo el mundo empezaron a programar en diferentes plataformas, múltiples aplicaciones que lograban vislumbrar el potencial tan inmenso que tenía el dispositivo en diversas áreas del conocimiento como la medicina, la publicidad, la robótica, la domótica, el arte visual, la visión por computador, la inteligencia artificial, etc. A continuación, una descripción general del dispositivo (Figura 1):

1. Sensor infrarrojo: Un proyector y sensor que puede mapear hasta 48 puntos del cuerpo humano.
2. Cámara RGB: cámara que se combina con mapeo infrarrojo para crear un mapa de voxels (píxeles con una escala de grises que simula la profundidad).
3. Motor de inclinación: dispositivo mecánico que sirve para ajustar la inclinación de la cámara automáticamente.
4. Micrófonos: el dispositivo cuenta con 4 micrófonos par captura optima de audio.



Figura 1. Descripción instrumental del sensor Kinect desarrollado por PrimeSense.

### 5.2 MindWave (Wearable BCI)

El dispositivo Mindwave es un sensor único seco de EEG no invasivo basado en un solo lóbulo. ThinkGear es la tecnología que está integrada en cada producto NeuroSky. Permite la conectividad con las ondas cerebrales del usuario. Se compone de un sensor que toca la frente para recoger datos de ondas cerebrales centradas en la corteza frontal, el contacto y los puntos de referencia ubicados en la almohadilla de la oreja (ver Figura 2). Los datos se procesan

utilizando el chip incorporado incluido en él. Tanto los medidores eSense (Meditación y atención) como las ondas cerebrales en bruto se calculan en el chip ThinkGear.



Figura 2. Dispositivos EEG MindWave Mobile 2 (izquierda) y MindWave Headset para ordenador de escritorio (derecha) desarrollado por Neurosky (<https://store.neurosky.com/>).

El software *Thinkgear* que se proporciona con el dispositivo EEG se usa para conectar el dispositivo EEG a la computadora. Permite ejecutar aplicaciones y juegos especiales según los estados de ánimo detectados por los auriculares EEG con el sensor *ThinkGear de NeuroSky*. Se ejecuta como un proceso en segundo plano de forma continua al mantener un socket abierto en el sistema informático, lo que permite que las aplicaciones se conecten a él. Las aplicaciones reciben información de los dispositivos *ThinkGear* conectados.[34]

### 5.3 Emotiv Epoc (Wearable BCI)

*Emotiv EPOC* basa su funcionamiento en un conjunto de sensores húmedos ubicados estratégicamente en distintas áreas de la cabeza; esto con el fin de interpretar las frecuencias producidas para detectar las señales eléctricas que llegan al cuero cabelludo (Figura 3). El dispositivo detecta ondas extracelulares primarias emitidas en el cerebro, estos tipos de onda interpretados por el sistema EEG se han clasificado en las siguientes bandas de frecuencia: GAMMA superior a 30 (Hz) BETA (13-30 Hz), ALPHA (8-12 Hz), THETA (4-8 Hz) y DELTA (menor a 4 Hz).

El auricular se encarga de recibir, cifrar y enviar las señales a través del puerto de comunicación para su pos-procesamiento, valiéndose de un protocolo de abstracción lógica denominada *EmoEngine*. Para acceder a los registros de las señales en el equipo se recurre a las herramientas SDK proporcionadas por Emotiv Systems SDK (<http://www.emotiv.com> ). Dentro de estas herramientas se destaca el *EmoKey*, que puede usarse para simular las señales de entrada que podrían presentarse en el auricular. Estas señales son tomadas por el *EmoComposer*, el cual es un emulador opcional encargado de enviar la información al *EmoEngine*.

El Emotiv EPOC posee 3 Suites para la detección de las señales de entrada: Expressiv, que descifra las expresiones faciales; Affectiv, cuya descripción es el estado emocional del usuario, y Cognitiv, cuya interpretación se basa sobre el uso consciente de los pensamientos.



Figura 3. Casco EEG Emotiv EPOC <http://www.emotiv.com>

## 5.4 HTC Vive (Gafas de Realidad Virtual)

Las HTC Vive son unas gafas de realidad virtual creadas por HTC y Valve (Figura 4). El dispositivo está diseñado para utilizar el espacio en una habitación y sumergirse en un mundo virtual en el que se permite al usuario caminar y utilizar controladores para interactuar con objetos virtuales. Vive tiene una frecuencia de actualización de 90 Hz. El dispositivo utiliza dos pantallas, una para cada ojo, cada una con una resolución de 1080x1200. Utiliza más de 70 sensores, incluyendo un giroscopio MEMS, acelerómetros y sensores láser, y está hecho para funcionar en un área de seguimiento de 4.6 metros por 4.6 metros, teniendo una precisión de menos de un milímetro. El sistema de seguimiento, llamado Lighthouse, fue diseñado por Alan Yates y utiliza fotosensores para el seguimiento de los objetos; para evitar problemas de oclusión, Vive combina dos Lighthouse que barren todo un espacio con láseres de luz estructurada. La cámara frontal permite detectar cualquier objeto, estático o en movimiento, en un área; Esta función sirve también como sistema de seguridad, mostrando el mundo real para evitar que los usuarios choquen con objetos.



Figura 4. VIVE Pro Headset de HTC Vive. Web <https://www.vive.com/us/>

## 5.5 VR mobile

Son unas gafas de bajo costo utilizadas para generar un ambiente de VR en utilizando dispositivos móviles. Generalmente, vienen acompañadas con un control inalámbrico para interactuar con el ambiente virtual. Son un recurso practico y accesible para el desarrollo ágil de proyectos con que involucren realidad virtual (ver Figura 5).



Figura.5 A la izquierda la gafas VR Mobile, a la derecha el control inalámbrico genérico.

## 5.6 Unity 3D

Es una plataforma computacional para programación de videojuegos basados en escenas que se concatenan. Fue escogido debido a que es una de las plataformas para desarrollar videojuegos más completos que existen. Permite la creación de juegos para múltiples plataformas a partir de un único desarrollo, incluyendo el desarrollo de juegos para consola (PlayStation, Xbox y Wii), escritorio (Linux, PC y Mac), navegador, móviles y tabletas (iOS, Android, Windows Phone y BlackBerry). Además, cuenta con una gran cantidad de API, librerías y Asserts libres que facilitan la integración con sensores y otros periféricos facilitando el desarrollo. También posee una de las comunidades más activas.

## 6. Videojuegos Creados

### 6.1 Karate Rehab (Rehabilitación del miembro superior)

Nombre: Karate Rehab

Orientación: Rehabilitación física

Enfoque: miembro superior

Tecnología: Sensor Kinect (Captura de Movimiento)

Validación: Si.

Este estudio ha incluido a 6 pacientes con síndrome piramidal, un grupo de trastornos neurológicos que afectan las motoneuronas de manera selectiva, los cuales han interactuado con un Exergame diseñado para la rehabilitación de la flexión del hombro. Los datos de Mocap fueron analizados reportando mejorías hasta del 18 % en rangos de movimiento después de 4 meses de intervención con el videojuego[35].

Descripción:

Síndrome Piramidal, también conocido como enfermedad de la neurona motora superior, es el conjunto de signos y síntomas derivados de la lesión de la vía piramidal desde su origen en la corteza cerebral hasta las conexiones en las astas anteriores de la medula espinal. Algunas de las alteraciones motrices que puede presentar el síndrome piramidal se dan en los miembros superiores a través de monoparesías o hemiparesias, las cuales son parálisis motoras parciales relacionadas a una extremidad del cuerpo o a un hemisferio del mismo respectivamente. Específicamente, este videojuego fue creado para la rehabilitación del hombro en el movimiento de flexo-extensión, el cuál puede ser medido en el plano sagital y en el eje transversal. Este gesto es de gran importancia cuando se camina y/o corre puesto que su oscilación permite mantener a la persona en óptima coordinación y equilibrio, también en el momento de sujetar objetos que se encuentran a altura y en la acción de entregarlos y/o recibirlos.

Se diseñó el Exergame que utiliza el sensor Kinect como dispositivo de entrada, el cual pretende hacer énfasis en el gesto de la flexión del hombro mediante un avatar que ejemplifica un estudiante de artes marciales partiendo tablas con su mano. El paciente entonces, debe realizar el movimiento de flexión del hombro para partir un número determinado de tablas en el ambiente virtual creado, en cada nivel se amplía el número de tablas lo cual aumentará la exageración que deba realizar el paciente en la flexión con la intención de generar mayor potencia en el golpe y así romper la tabla como se ve en la Figura. 6.





Figura.6 Paciente interactuando con el videojuego Karate Rehab. Ver video: <https://goo.gl/VQ3D5e>

Publicación:

«Shoulder flexion rehabilitation in patients with monoparesia using an exergame», en Serious Games and Applications for Health (SeGAH), 2014 IEEE 3rd International Conference on, 2014 <https://goo.gl/c1PUok> [36]

Rol: Desarrollador Principal

## 6.2 Virtual Balance (Equilibrio Dinámico)

Nombre: Virtual Balance

Orientación: Rehabilitación física

Enfoque: miembro superior

Tecnología: Sensor Kinect (Captura de Movimiento)

Validación: si

Se llevó a cabo una sesión de rehabilitación con un paciente de EM y una sesión de interacción del mismo Exergame con un paciente sano en las instalaciones de la Clínica de Dolor del Eje Cafetero, con la presencia del médico fisiatra José Fernando López. Se realizó como una prueba piloto de carácter experimental, por lo que solo se registraron datos correspondientes a la prueba previa a la intervención, no se realizó ninguna prueba posterior a la intervención con el paciente, solo le fueron administrados ejercicios físicos de estiramientos como estrategia de vuelta a la calma. Los bioseñales de MOCAP fueron recolectadas durante la sesión con el fin de analizarlas usando gráficas ángulo-ángulo en las posiciones unipodal y tándem. Durante la intervención cada paciente interactuó con el sistema alrededor de 30 minutos mostrando interés y altos niveles de entretenimiento durante toda la sesión[8].

Descripción:

Según la sociedad nacional de esclerosis múltiple de estados unidos de américa, la Esclerosis Múltiple (EM) es una enfermedad crónica y a menudo discapacitante que ataca el sistema nervioso central (encéfalo y médula espinal), se cree también que también es una enfermedad inmuno-mediada, ya que el sistema inmunológico de la persona ataca la vaina de mielina de las fibras nerviosas que protegen el sistema nervioso central y configuran su envoltorio. Por ello, la progresión, severidad y síntomas pueden variar entre diferentes personas y son impredecibles, lo que hace que existan períodos de síntomas activos de la enfermedad, conocidos como exacerbaciones o ataques donde la persona sufre recaídas con diferentes síntomas.

Aunque no existe una cura definitiva para esta enfermedad, existen fármacos que retrasan la aparición de estos síntomas y con ayuda de diferentes enfoques de rehabilitación pueden ayudar a retrasar la discapacidad generada[37].

El Exergame Virtual balance, consiste en un avatar que se encuentra en un tronco virtual fijo con sus extremidades inferiores, el paciente representado por el avatar deberá en ambas posiciones, utilizar sus extremidades superiores abiertas no solo para poder balancearse, sino que también para evitar y capturar ciertos estímulos que aparecerán en la pantalla. Cuando el usuario empieza a perder el equilibrio, el avatar se inclina hacia un lado, momento en el cual el usuario debe compensar esta inclinación con movimientos ligeros o exagerados hacia el otro costado. El videojuego finaliza cuando el avatar cae completamente del tronco virtual, arrojando en pantalla del tiempo total el cual el usuario permaneció en equilibrio (Ver Figura 7). El Exergame le exige al usuario que pueda controlar tanto el desplazamiento como la velocidad de cada uno de sus segmentos corporales, haciendo que aumente el grado de dificultad de la tarea a medida que incrementa la oscilación postural del paciente.

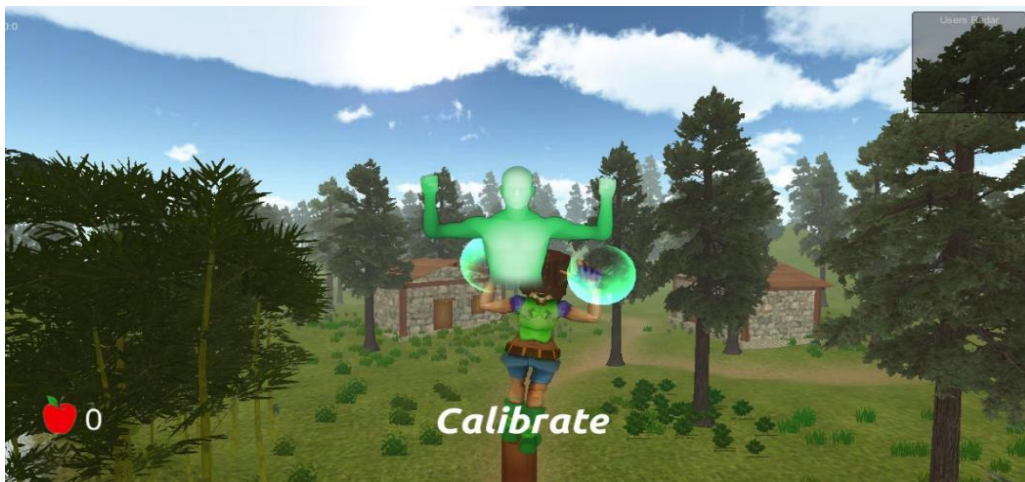


Figura.7 Interfaz de Virtual Balance

Publicación:

- «Exergames as a tool for the assessment of postural balance in a patient with multiple sclerosis» en 10° Congreso Colombiano de Computación (10CCC) en la línea de investigación.[38].

Rol: Desarrollador Principal

## 6.3BKI: Cognitive Balance (Equilibrio estático)

Nombre: Cognitive Balance

Orientación: Equilibrio estático y entrenamiento cognitivo

Enfoque: miembro superior

Tecnología: Sensor Kinect (Captura de Movimiento), Emotiv Epoc (Wearable BCI)

Validación: si

El estudio permitió evaluar el tiempo de equilibrio de cada pie en cerca de 20 personas sanas, utilizando como predictores biomecánicos, las señales cinemáticas provenientes del sensor Kinect, tomadas durante la interacción con el videojuego; mostrando un aumento promedio en los tiempos de equilibrio de hasta 15 % en comparación con otros estudios. Finalmente, se llevaron a cabo pruebas del sistema híbrido (Mocap + BCI) mostrando su viabilidad [35].

Descripción:

El Accidente Cerebro Vascular (ACV) se refiere a los síntomas y signos neurológicos, usualmente focalizados y agudos, los cuales son consecuencia de enfermedades que involucran los vasos sanguíneos. El ACV es la tercera causa de mortalidad después del corazón y el cáncer y es la primera causa de incapacidad o pérdida funcional de origen neurológico [39]. Específicamente, la hemiparesia es una condición de discapacidad que puede ser causada por un ACV y se refiere a la disminución de la fuerza motora que afecta un brazo y una pierna del mismo lado del cuerpo. Una característica típica de la postura hemiparética de personas sobrevivientes a un ACV es la asimetría entre los dos lados del cuerpo, la cual se manifiesta en aspectos temporales y de fuerza. La habilidad de iniciar un control voluntario para mantener el peso distribuido hacia una pierna del cuerpo, es un prerrequisito para caminar de forma independiente y para realizar muchas otras tareas funcionales, así que mantener voluntariamente el peso es un aspecto importante en los programas de rehabilitación para pacientes con ACV [40].

Teniendo en cuenta lo anterior en este proyecto desarrollamos un videojuego para la rehabilitación del equilibrio estático en pacientes con ACV usando sistemas de captura de movimiento (sensor Kinect) e interfaces de cerebro computador (Emotiv EPOC). El videojuego, llamado "*Cognitive Balance*" (Enlace al video: <https://goo.gl/xfRH3>) se resume así: "*El Cognitive Balance* es un videojuego híbrido entre un *Exergame* y un *BCI-Game* diseñado (BKI) para realizar terapias de rehabilitación en pacientes que han sufrido ACV y que tienen problemas de equilibrio estático" (Ver Figura 8). El paciente utiliza los movimientos de su cuerpo y sus intenciones mentales como control del sistema interactivo, el cual utiliza el sensor Kinect para la captura del movimiento y el neuro casco Emotiv EPOC para el control mental dentro del videojuego. El videojuego consiste en un avatar que tiene unos patines puestos y se desplaza por un tronco virtual, el paciente deberá intentar mantenerse de pie la mayor cantidad de tiempo posible buscando balancear el avatar mediante los movimientos coordinados de sus manos y su tronco.

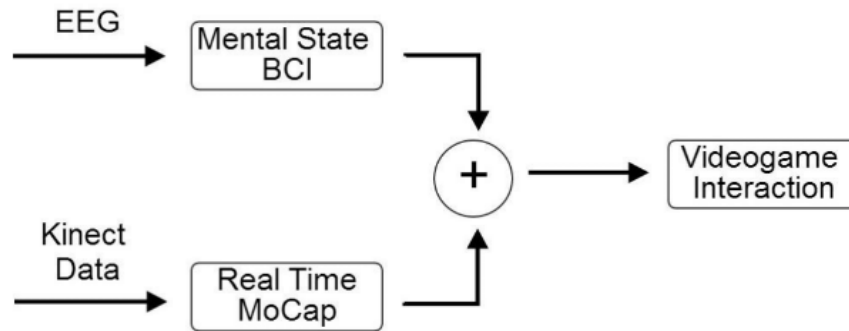


Figura 8. Esquema del sistema híbrido Brain Kinect Interface (BKI) utilizado en el juego [5]

Cuando el usuario empieza a perder el equilibrio, el avatar se inclinó hacía un lado, momento en el cual el usuario debe compensar esta inclinación con movimientos ligeros o exagerados (ver Figura 9). Cada 15 segundos un objeto aparecerá en el aire la escena virtual e irá directamente hacía el avatar buscando desequilibrar, es allí donde el usuario, mediante la interfaz cerebro computador, tiene que destruir el objeto usando un comando mental con el fin evitar la colisión. El videojuego termina cuando el usuario alcanza un puntaje determinado; el sistema imprime en pantalla el tiempo total que dura el avatar sin caerse y realiza un conteo de la cantidad de objetos destruidos"

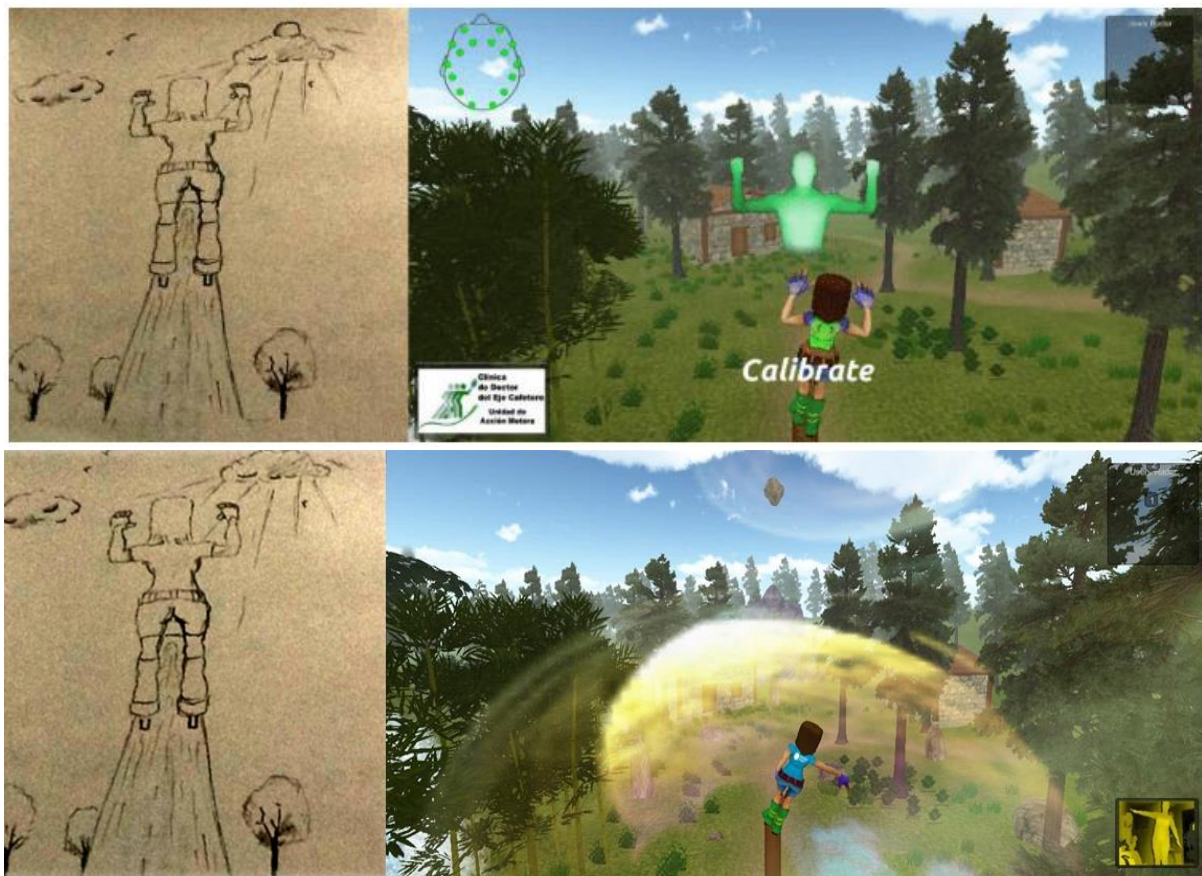


Figura 9. Boceto preliminar (izquierda) y escena en el videojuego (derecha). Arriba comunicación con el emotiv y abajo comunicación con el Kinect. Ver video: <https://goo.gl/xfRH3>

También se ha desarrollado una versión utilizando el *MindWave Headset*. Se han publicado en diferentes congresos nacionales e internacionales.

Publicación:

- Application of hybrid BCI and exergames for balance rehabilitation after stroke», en *Proceedings of the 11th Conference on Advances in Computer Entertainment Technology*, 2014[41] (<https://goo.gl/CeBsNb>).
- «BKI: Brain Kinect Interface, a new hybrid BCI for rehabilitation», en *Games for Health*, Springer, 2013 [42] (<https://goo.gl/v3pni2> )
- J. Muñoz, J.F. Villada, C.D. Muñoz, O. Henao. Sistema Multimodal para la Rehabilitación Asistida por Videojuegos. IEEE Concapan XXXIV, Convención de Centroamérica y Panamá, Ciudad de Panamá 2014. <https://goo.gl/EtZFc9> [35]

Rol: Desarrollador Principal

## 6.4 *BCI Duck Hunt* – Neuro-rehabilitación con interface cerebro computador

Nombre: *BCI Duck Hunt*

Orientación: Neuro-rehabilitación

Enfoque: Imaginación Motora

Tecnología: Emotiv Eloc (Wearable BCI), OpenVibe (software)

Validación: si

Se realizó el experimento descrito con 8 usuarios adultos jóvenes entre los 24 y 28 años de edad, de género masculino, sin ninguna condición patológica o desorden neurológico diagnosticado. A cada uno de los usuarios se le indicó la rutina del experimento justo antes de comenzar. Las intervenciones fueron realizadas siempre en las primeras horas del día (8:00 am. - 9:00 am.) con el fin de evitar factores como el estrés o sudoración excesiva, además se les solicitó dormir bien la noche anterior con el fin de disminuir los inconvenientes con estados de somnolencia durante la intervención del experimento[5].

Descripción:

*BCI Duck Hunt*, es un videojuego basado en la estrategia mental de imaginación motora creada para la interacción con interfaces cerebro computador. Mover algún miembro o incluso la contracción de algún músculo cambia la actividad cerebral en la corteza. En efecto, la preparación del movimiento o la imaginación del movimiento cambian los llamados ritmos sensoriomotores (SMR)[8]. En esta estrategia, el usuario con solo imaginar ciertos movimientos de su cuerpo puede generar señales detectables para controlar acciones dentro de un videojuego. Después de la fase de entrenamiento previa, el sistema es adaptado para reconocer dos clases en particular: la imaginación del movimiento de la mano derecha y la imaginación del movimiento de la mano izquierda con el fin de interactuar en un entorno bidimensional basado en el famoso videojuego de la *Nintendo Duck Hunt*™.

Dentro del videojuego, el jugador debe utilizar la imaginación de movimiento a través del sistema BCI Emotiv EPOC con el fin de disparar a los patos que vuelan por la pantalla, obteniendo puntos conforme su nivel de acierto (Ver Figura 10). Para este caso, los disparos dependen de la capacidad que tenga el usuario de imaginarse cualquiera de los dos movimientos, si el pato sale en la parte derecha de la pantalla, el usuario deberá imaginar su movimiento de su mano derecha para generar la acción de control que disparara y derribara el pato, de forma análoga, el usuario podría hacerlo con los patos de la parte izquierda de la pantalla. Para disparar a los patos, el usuario dispone de unos cuantos segundos de vuelo; los patos vuelan fuera de la pantalla si no se logra la señal correcta en el tiempo estipulado. El videojuego finaliza con el total de objetivos impactados en una ronda de 10 oportunidades distribuidas aleatoriamente (derecha e izquierda).

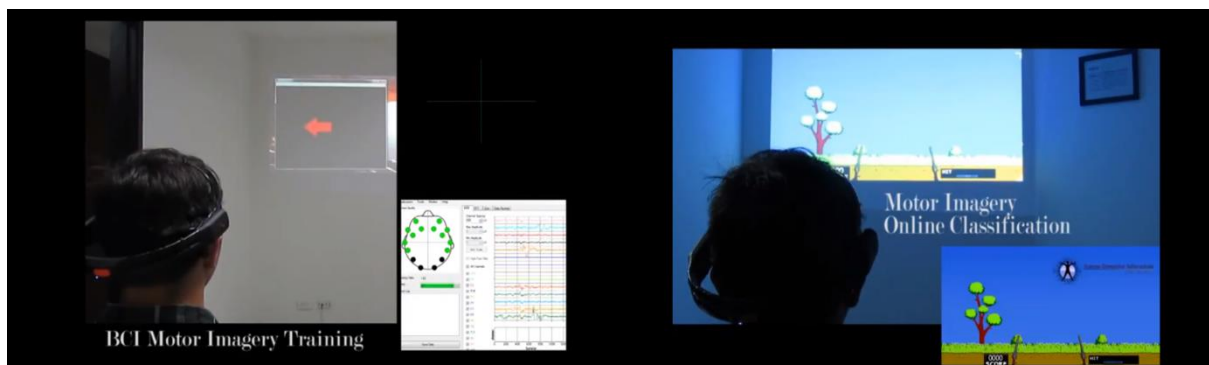


Figura 10. A la Izquierda, el entrenamiento de Imaginación Motora (IM). A la derecha, el juego disparando con movimientos de manos derecha e izquierda. Enlace de video: <https://goo.gl/MH6rkJ>

El documento de diseño fue elaborado utilizando teorías de condicionamiento operante aplicado a videojuegos [43],[44], en donde se utilizan puntos de contingencia, los cuales permiten correlacionar eventos dentro del videojuego. Esta teoría utiliza los tres elementos clásicos del condicionamiento operante: *antecedentes*, establecidos como reglas y objetivos a alcanzar dentro del videojuego; *comportamientos*, relacionados con los estados mentales de imaginación motora en los que se desea inducir al usuario y finalmente, las *consecuencias*, establecidas como refuerzos positivos y negativos que se definen dentro del videojuego cada vez que el usuario realiza o no realiza la tarea mental propuesta.

Todos los algoritmos de clasificación (Ver Figura 11) fueron evaluados en 8 sujetos sanos, la precisión promedio del mejor clasificador fue 96.7%, lo que demuestra que es posible llevar a cabo experimentos neurocientíficos serios usando sistemas de BCI de bajo costo y lograr precisiones comparables con costos más sofisticados y costosos dispositivos.

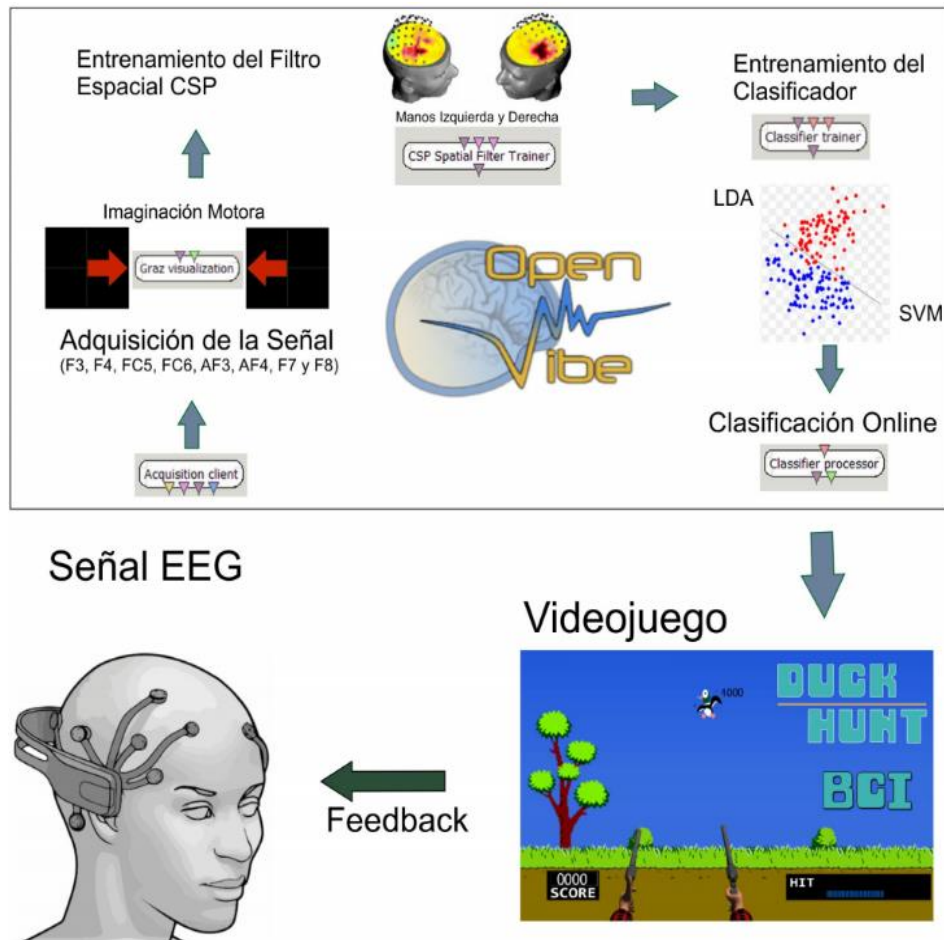


Figura 11. Diagrama funcional de *Duck Hunt* BCI.

Los trabajos publicados con el desarrollo son presentados a continuación[45]:

- J. Muñoz, Luis H. Rios, O. Henao. "Low Cost Implementation of a Motor Imagery Experiment with BCI system and its use in neurorehabilitation", 36th Annual Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society", Chicago E.U., 2014. Enlace : <https://goo.gl/iHetUK>

## 6.5 Desafío Cosecha v1.0

Nombre: Desafío Cosecha

Orientación: Entrenamiento Cognitivo

Enfoque: Atención y Relajación

Tecnología: *MindWave* (*Wearable* BCI)

Validación: si

Se realizaron 2 intervenciones en un instituto especializado (Instituto de Audiología Integral-IdeAI) con un total de 9 niños diagnosticados con ADHD en sesiones de juego de 30 minutos[46].

Descripción:

Para la creación del Desafío Cosecha (y sus diferentes versiones), tuve la oportunidad de participar como co-diseñador y programador principal del videojuego. Así entonces, la descripción es ligeramente diferente a la de los videojuegos anteriores ya que involucra mi contribución como diseñador de videojuegos.

## **Diseño del videojuego**

### **Problemática**

El tratamiento estándar para pacientes con Déficit de atención e hiperactividad (ADHD por sus siglas en inglés) incluye principalmente la medicación y el tratamiento psicosocial o conductual; en la última década el uso de sistemas de electroencefalografía (EEG) basados en neuro-realimentación “*Neurofeedback*” ha sido desarrollado como una novedosa metodología para el tratamiento de ADHD[47]. Esta técnica consiste en dar realimentación a los procesos internos del cerebro a través de señales visuales y auditivas; es toda una disciplina científica que permite entrenar el cerebro para mejorar y autorregular de una manera voluntaria la actividad involuntaria del mismo[48]. Los estudios concluyen que el uso de *Neurofeedback* para el tratamiento de la patología puede ser considerado “eficaz y específico” con un amplio tamaño de efecto para la inatención y la impulsividad y con un medio tamaño de efecto para la hiperactividad [49].

Es precisamente en este punto en donde convergen las interfaces cerebro computador, los videojuegos para la salud y el ADHD: el desarrollo de videojuegos con realidad virtual basados en *Neurofeedback* que utilizan sistemas BCI como interfaz de entrada de datos, presupone un novedoso panorama para el tratamiento del ADHD [50]. Teniendo en cuenta la alta prevalencia del trastorno en el país, la forma en cómo esto afecta de manera negativa el rendimiento académico de estos niños en las instituciones educativas (IE) y la falta de adherencia de los niños con rasgos de ADHD a los tratamientos propuestos por parte de los docentes de apoyo; el uso de un programa de entrenamiento de la atención basado en videojuegos con sistemas BCI presupone una herramienta que puede ayudar a complementar (no a reemplazar) los esfuerzos que se vienen adelantando en el país por combatir la incidencia y las repercusiones del trastorno en el modelo educativo colombiano. El videojuego creado se denominó “Desafío Cosecha” y es un programa de entrenamiento de la atención sostenida para niños con trastorno por déficit de atención con hiperactividad que utiliza un sistema BCI de bajo costo. En su primera versión (v1.0), Desafío Cosecha fue limitado a ser un videojuego de PC jugado con un sistema usable de interacción cerebro computadora (*wearable BCI*). A continuación, se muestran cada uno de los métodos usados para su desarrollo.

### **Conformación del equipo interdisciplinar**

Para la realización del videojuego fue necesario crear un grupo multidisciplinario de trabajo conformado por profesionales en tres áreas: salud, ingeniería y diseño multimedia. El equipo de salud lo conformaron neuropsicólogos, psiquiatras y un fisiatra. Este grupo fue el encargado de realizar un proceso de descripción amplio del problema de la atención sostenida en los niños con ADHD, evidenciando los factores en los cuáles el videojuego debería centrarse para convertirse en una ayuda terapéutica para la esta población. El grupo de ingeniería fue conformado por investigadores en las áreas de bioingeniería y procesamiento de señales. Este grupo fue el encargado de encontrar los mejores métodos para procesar las señales EEG tomadas de los sensores BCI. Además, establecieron los requerimientos técnicos necesarios para el uso de sistemas BCI en videojuegos. Finalmente, el grupo de diseño multimedia se encargó de crear todos los conceptos gráficos del videojuego a partir de las necesidades médicas planteadas, la



programación de la interfaz dentro del motor de videojuegos y el diseño de las dinámicas interactivas.

### Requerimientos médicos de diseño

Desafío cosecha es un videojuego diseñado para realizar sesiones de entrenamiento en pacientes con ADHD en 4 aspectos fundamentales:

- i) capacidad de espera;
- ii) capacidad de planeación;
- iii) seguimiento de instrucciones;
- iv) lograr objetivos.

Estos aspectos fueron identificados por el equipo de especialistas y se centran en la distinción entre el incumplimiento y la incompetencia. Está distinción es particularmente importante en niños con ADHD debido a que los padres, educadores y cuidadores a menudo subestiman las capacidades de desarrollo de estos niños: un gran porcentaje de los problemas que los niños con ADHD muestran, son el resultado de la incompetencia en lugar de un incumplimiento deliberado. *El niño con ADHD se esfuerza por asentarse en una tarea, carece de persistencia, comete errores repetitivos, tiende a exagerar, se frustra fácilmente, responde de manera impulsiva y se comporta sin descanso.* Este patrón da como resultado una amplia variedad de comportamientos sin propósito que son claramente molestos para los demás. Sin embargo, estos comportamientos en muchos casos no son el resultado de una acción planificada sino todo lo contrario[51].

### Mini Juegos

Cada uno de los aspectos fundamentales identificados fue llevado dentro de la dinámica del videojuego. Se desarrollaron múltiples diseños conceptuales (Figuras 12 y 13) los cuales contienen 3 minijuegos con las mecánicas descritas a continuación. Para ver el resultado se realizó un video con el *game play* del videojuego que puede ser consultado en el siguiente enlace: <https://goo.gl/TuY4ps> .



Figura 12. Arte conceptual "Equipamiento para el Canopy". Los diseños fueron realizados por el estudiante Henry Montoya.



Figura 13. Arte conceptual de los “Ítems del canopy”. Los diseños fueron realizados por el estudiante Henry Montoya.

## Implementación

### a. Equipamiento para el canopy

Para la implementación se recurrió al motor de videojuegos Unity y el SDK de integración del *MindWave*. En el primer minijuego, el usuario tiene que escoger los objetos necesarios para el descenso en *Canopy*, los cuales son escogidos según un objetivo planteado; por ejemplo, para el objetivo de “Protección de la Cabeza”, el usuario debe escoger la imagen del casco para equipar al avatar (Figura 14). El orden para equiparse es aleatorio tras cada jugada. Los objetos están en constante rotación y el usuario debe elevar sus niveles de atención para detener el objeto requerido en el lugar exacto, esto es, en donde se encuentra un círculo luminoso en la parte central superior de la pantalla.



Figura 14. Usuario equipando al avatar con concentración

El objetivo en este minijuego es mejorar la habilidad para el seguimiento de instrucciones en los niños con el déficit. El primer minijuego finaliza cuando el usuario está totalmente equipado (un total de 4 ítems) para un descenso en *Canopy*. El jugador siempre cuenta con un mapa en la parte posterior derecha el cual le ayudará a ubicarse y a identificar el siguiente objetivo. Durante el recorrido hacía los siguientes puntos de interacción mental, el usuario podrá recoger algunos objetos que le servirán para obtener puntos (Figura 15) hasta llegar a la zona de *canopy*.



Figura 15. Usuario recorriendo el escenario del juego

### **b. Descenso del Canopy**

Antes de descender por una soga larga en Canopy, el usuario debe subir el camino de una montaña, el cual se encuentra construido con escaleras de madera. En algunos segmentos del camino, las tablas de madera se encuentran quebradas, el usuario tendrá que reconstruir el camino usando sus intenciones mentales (Figura 16).. Una vez el usuario logra sobrepasar un umbral de atención determinado, el camino se reconstruye a su paso. A menudo que se va acercando a la cima de la montaña, el usuario tendrá que superar valores más grandes de umbrales de atención para conseguir reparar el camino completo. En esta etapa se busca estimular la capacidad de espera de los niños mediante unos refuerzos positivos entregados en forma de estímulos visuales y auditivos.



Figura 16. Izquierda diseño conceptual del minijuego “Descenso del Canopy”. Los diseños fueron realizados por el estudiante Henry Montoya. A la derecha, avatar reparando el puente de madera usando su nivel de atención.

Una vez finalizado el trayecto, el usuario se encuentra en la cima de la montaña listo para el descenso (Figura 17). En este punto el usuario debe planear la ruta de descenso según un orden de recolección de objetos específico. El usuario debe escoger entre tres opciones de movimiento: movimiento a la derecha, movimiento a la izquierda o permanecer en el centro de la línea de descenso. A lo largo del trayecto, el usuario encontrará una serie de frutos propios del paisaje cultural cafetero colombiano. El modo de recolección es a partir de un orden establecido en pantalla y el usuario podrá observar los frutos venir desde lo lejos y tendrá que planear cuáles serán sus movimientos para recolectar los adecuados en el orden establecido.



Figura 17. Captura de pantalla del minijuego “Descenso del Canopy”.

### c. Aventura de recolección

En este punto el usuario debe recolectar los vegetales en un gran cultivo. Con este fin, el jugador es dotado de una gran canasta de recolección en su espalda. Para recoger los vegetales, el usuario deberá utilizar niveles altos de atención sostenida, esto es, una vez el usuario alcanza el umbral, los vegetales emergen de la tierra y pueden ser recolectados. Una vez el usuario reduce sus niveles de atención, los vegetales vuelven de nuevo a ponerse debajo de la tierra (Figura 18). Aquí el objetivo es que el usuario logre no sólo lograr un nivel de atención determinado, sino también, que logre mantenerlo en el tiempo. El videojuego finaliza cuando el usuario recolecta cada uno de los vegetales, completando así los objetivos impuestos en cada minijuego. Finalmente, aparecen en pantalla el puntaje final alcanzado y una curva de la tasa theta/beta calculada a lo largo de la interacción con el videojuego. Esta tasa es calculada usando las potencias de los ritmos oscilatorios asociados (theta y beta) tomados del electrodo EEG del sensor. Estas gráficas son guardadas automáticamente permitiendo crear un registro del proceso de entrenamiento de cada niño con el videojuego. Actualmente, el videojuego se encuentra en pruebas de usabilidad con un grupo de niños con ADHD entre los 7 y 11 años de instituciones educativas locales.



Figura 18. Captura de pantalla del minijuego “Aventura de Recolección”

#### Publicación:

- «Design and creation of a BCI videogame to train sustained attention in children with ADHD», en *Computing Colombian Conference (10CCC), 2015 10<sup>th</sup>*. [52] <https://goo.gl/yJ62qp>
- «Influence of a BCI neurofeedback videogame in children with ADHD. Quantifying the brain activity through an EEG signal processing dedicated toolbox», en *Computing Conference (CCC), 2016 IEEE 11th Colombian* [46] <https://goo.gl/B1JN38>

Una versión preliminar del juego sin la evaluación se presentó en el concurso de FAVI emprende innovador año 2014 en la modalidad de estudiantes y obtuvieron el primer lugar<sup>4</sup>

Rol: Desarrollador Principal, Co-diseñador, investigador auxiliar.

---

<sup>4</sup> [https://www.youtube.com/watch?v=CW0Dl19k\\_wI](https://www.youtube.com/watch?v=CW0Dl19k_wI)

## Transformando la experiencia a través de la Realidad Virtual

Con el desarrollo y el abaratamiento de la realidad virtual en los últimos años, se estudió la posibilidad de integrar esta tecnología al videojuego Desafío Cosecha. Esto fue hecho a través de dos diferentes enfoques tecnológicos: realidad virtual móvil y realidad virtual dedicada. Se diseñó por completo un escenario con tres subniveles que permitiera tomar partido de las ventajas de inmersividad y presencia de la VR.

Para el desarrollo del de la **versión móvil** se modificaron los tres niveles originales con el fin de adaptar mejor la experiencia para el usuario. También se adaptó un mando Bluetooth. Al igual que la versión de ordenador, mediante la lectura de las señales EEG usando el Mindwave Mobile, se calculan los niveles de atención del usuario los cuales son usados en tiempo real para modular las interacciones con objetos virtuales. En el primer nivel el objetivo del usuario es el de “cosechar” las frutas (Figura 19). Para esto, se debe acercarse a los distintos árboles frutales distribuidos por el mapa y elevar su nivel de concentración para que los frutos caigan.



Figura 19. Frutos cayendo del árbol

En el segundo nivel es la “recolección”; en éste el usuario debe posicionarse cerca de las canastas y con atención sostenida recolectar las frutas (Figura 20).



Figura 20. Recolección de Frutos

En el tercer nivel se deben levantar los graneros para almacenar los frutos, esto se hace manteniendo unos niveles específicos de concentración. Se deben levantar los tres graneros (Figura 21).



Figura 21. Graneros emergiendo en el escenario

Al finalizar el juego, se registra un archivo con los datos guardados con las señales del *Mindwave* (Atención, Relajación, Theta, Beta...) para posterior análisis.



Finalmente, para la **versión dedicada** con HTC vive se utilizó las API predefinidas *de steam* para simular las mecánicas del juego. Esta versión es mecánicamente idéntica a la versión móvil con el fin de mantener una captura de datos homogénea en ambas plataformas (Figura 22).

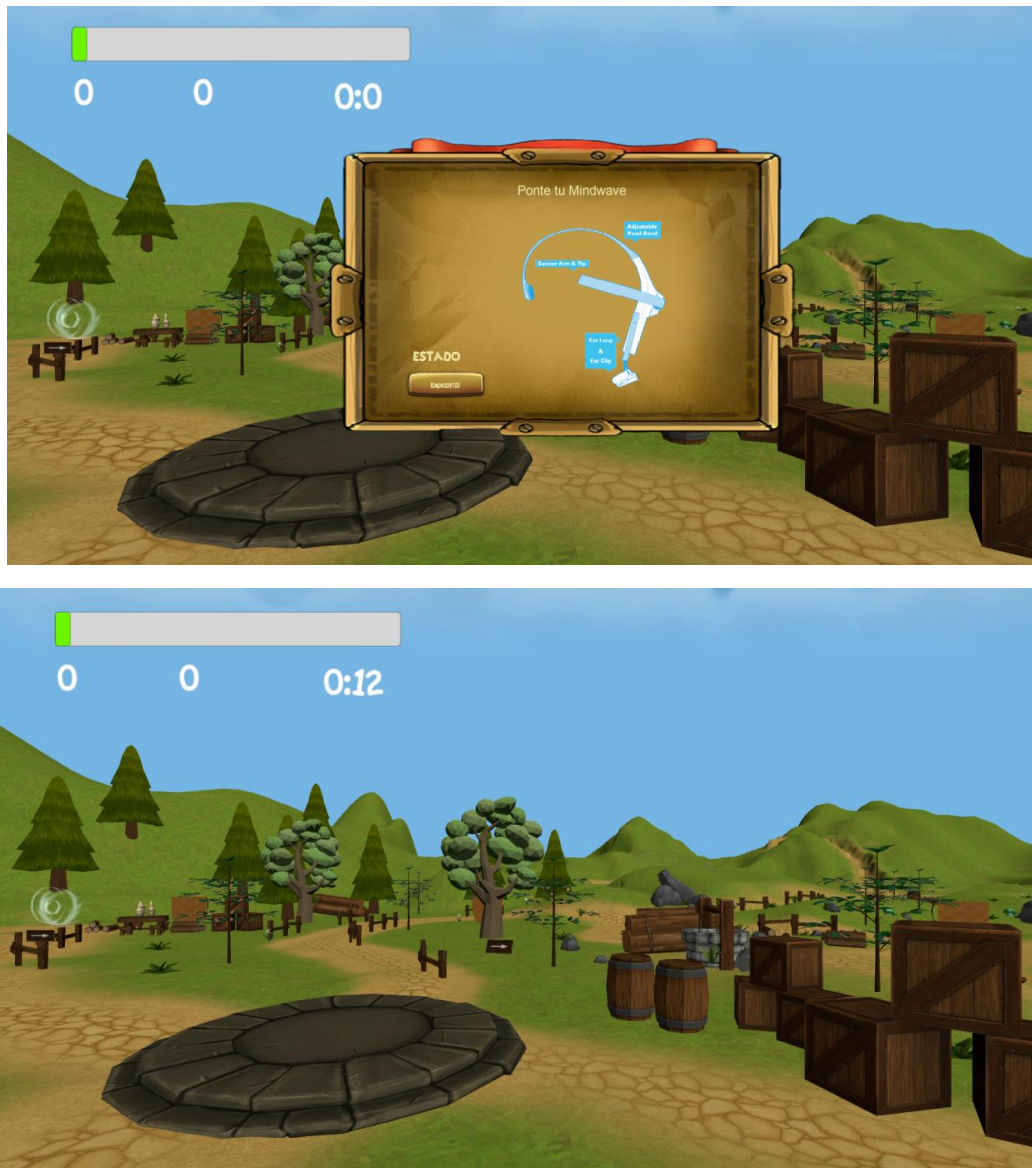


Figura 22. Arriba: interfaz de inicio con el casco Mindwave Headset. Abajo: Vista de la escena principal en versión HTC vive

Publicación: en desarrollo para ser enviada a Inngenio 2018.

## 7. Discusión

En los distintos videojuegos se evidencia el potencial para crear espacios de interacción donde diferentes estímulos logran que el paciente alcanza un estado de inmersión. Y con este un mayor grado de adherencia al tratamiento como se plantea en los resultados de las validaciones. Si bien los estudios de validación de los videojuegos fueron breves se puede aseverar que el uso de videojuegos serios como complemento a la terapia convencional tiene el potencial de generar un impacto positivo en los pacientes a largo plazo.

Teniendo en cuenta la problemática relacionada con los centros de rehabilitación en Colombia, los videojuegos serios implementados en espacios propuesto pueden acercar a la comunidad médica al uso clínico de los videojuegos serios para la salud como metodología para complementar la rehabilitación convencional. Particularmente, la Clínica de Dolor del Eje Cafetero, un centro de rehabilitación escogido para el desarrollo de estudios con pacientes, la evaluación de videojuegos serios desarrollados y la optimización de las interfaces usadas a través de la rehabilitación asistida por computador. En este centro de rehabilitación, se incorporaron juegos serios a las terapias de más de 700 pacientes con deficiencias motoras que van desde lesiones de rodilla y traumas, hasta pacientes con *stroke* y parálisis cerebral [35].

Vincular investigadores con prototipos parcialmente desarrollados para el mejoramiento del servicio en áreas como la rehabilitación física, entrenamiento cognitivo y la neuro-rehabilitación, se muestra como un camino fiable y seguro para el mejoramiento de la calidad de las investigaciones realizadas en estos campos en países como Colombia, en donde a pesar de tener una gran cantidad de personas en condición de discapacidad y de adultos mayores [53] (en comparación con países como Ecuador, México y Paraguay).

El uso del sensor Kinect como herramienta para el análisis biomecánico facilita y optimiza la captura y el análisis de los datos de captura de movimiento de los pacientes dentro de un rango confiable de medida, teniendo en cuenta que esta herramienta fue diseñada como un dispositivo exclusivo para *Exergames*, dirigido a leer movimientos con mayor exactitud en el plano frontal, a una resolución muy baja. Sin embargo, el Kinect como técnica de bajo costo en el campo medico facilita la interacción entre el paciente y la herramienta, favoreciendo la relación costo/beneficio para el personal de la salud, y proporcionando una medición complementaria a las estandarizadas pero subjetivas escalas de evaluación clínicas.

Ciertamente la tecnología de *Kinect* como la conocemos (*Mocap* para consolas) se ha evolucionado al campo de la realidad virtual buscando integrarse con *Hololens* pero su rama de aplicabilidad en salud sigue vigente. Por ejemplo, *Microsoft Research* ha desarrollado una aplicación llamada *Cardiolens* que instalada en las HoloLens permite mostrar el ritmo cardiaco de los usuarios[54].

La investigación de Realidad Virtual (VR) está acelerando el desarrollo de las interfaces cerebro computador(BCI) en tiempo real y económicas. Las mejoras de hardware que permiten adquirir sistemas inmersivos de realidad virtual a bajo costo, los sensores portátiles de BCI como el *mindwave* y el uso de *frameworks* especializado ha hecho posibles que los desarrolladores puedan usar y crear aplicaciones que combinen BCI y VR[55].

## 8. Trabajos Futuros

- ❖ Se realizará un experimento comparativo con el videojuego Desafío Cosecha para cuantificar las diferencias en interactividad y experiencia de usuario de las diferentes versiones realizadas (VR y convencional).
- ❖ Se desarrollará un protocolo de adquisición con el cual se espera validar las últimas versiones del Desafío Cosecha con un grupo de niños con Déficit de Atención e Hiperactividad en el instituto de audiología integral de la ciudad de Pereira.
- ❖ Como siguiente fase en el desarrollo de investigación se planea expandir el videojuego Desafío Cosecha en los cascos *EPOC e INSIGHT* y *BR8* plus, para tener un amplio espectro de señales EEG que permitan validar diversas funciones y sintomatología asociada con este complejo desorden comportamental en niños de la región. Estos cascos pueden medir con mayor precisión los biomarcadores y mejorar la precisión de los datos.

## 9. Conclusiones

El uso de videojuegos para la salud una metodología complementaria a los procesos de rehabilitación convencionales, añadiendo aspectos de motivación, entretenimiento y distracción de dolor en pacientes con múltiples patologías. El uso de interfaces cerebro computador (BCI) muestran ser herramientas útiles al ser integradas en el entorno de desarrollo de videojuegos serios, dentro de un rango confiable de medida. La convergencia entre el sector académico ingenieril y el área de la salud, establecen un marco de partida para futuras innovaciones.

Estos estudios, pretenden establecer una base científica sólida de la eficacia de tecnologías como los sistemas de captura de movimiento y las interfaces cerebro computador, en procesos de rehabilitación y neuro-rehabilitación asistidos por computador en países emergentes como Colombia. El desarrollo de soluciones ingenieriles para el estudio de la neurociencia y la incorporación de estos sistemas tecnológicos en el ámbito clínico, constituyen una valiosa oportunidad para generar valor agregado a los sistemas desarrollados en el país, resaltando la validación en pacientes locales y el desarrollo de soluciones a problemas reales del sector. Otros resultados cualitativos muestran una mejora significativa en la adherencia al tratamiento por parte de los pacientes y una alta aceptabilidad de las interfaces y el software para el análisis por parte de los terapeutas y los usuarios finales.

## Bibliografía

- [1] Q. Ramzan y S. Shidlovskiy, «Evolution of the Brain Computing Interface (BCI) and Proposed Electroencephalography (EEG) Signals Based Authentication Model», en *MATEC Web of Conferences*, 2018, vol. 155, p. 01006.
- [2] R. R. Schaller, «Moore's law: past, present and future», *IEEE Spectr.*, vol. 34, n.º 6, pp. 52-59, 1997.
- [3] A. Dix, «Designing for appropriation», en *Proceedings of the 21st British HCI Group Annual Conference on People and Computers: HCI... but not as we know it-Volume 2*, 2007, pp. 27-30.
- [4] J. C. G. Trujillo, J. E. Muñoz, y J. F. Villada, «Exergames: una herramienta tecnológica para la actividad física», *Rev. Médica Risaralda*, vol. 19, n.º 2, 2013.
- [5] J. E. M. Cardona, «Clasificación de patrones de imaginación motora en una interfaz cerebro computador de bajo costo usando software libre», Universidad Tecnológica de Pereira. Facultad de Ingenierías Eléctrica, Electrónica, Física, y Ciencias de la Computación. Maestría en Ingeniería Eléctrica., 2014.
- [6] W. G. Walter, R. Cooper, V. J. Aldridge, W. C. McCallum, y A. L. Winter, «Contingent negative variation: an electric sign of sensori-motor association and expectancy in the human brain», *Nature*, vol. 203, n.º 4943, p. 380, 1964.
- [7] B. Allison, B. Graimann, y G. Pfurtscheller, *Brain-computer Interfaces: Revolutionizing Human-computer Interaction*. Springer, 2010.
- [8] M. S. C. Orobio, «Validación de un Exergame para esclerosis múltiple a través de análisis biomecánico usando teoría de sistemas dinámicos», Universidad Tecnológica de Pereira. Facultad de Ciencias de la Salud. Ciencias del Deporte y la Recreación, 2016.
- [9] T. W. Berger *et al.*, *Brain-Computer Interfaces: An international assessment of research and development trends*. Springer Science & Business Media, 2008.
- [10] J. J. Shih, D. J. Krusienski, y J. R. Wolpaw, «Brain-computer interfaces in medicine», en *Mayo Clinic Proceedings*, 2012, vol. 87, pp. 268-279.
- [11] B. Z. Allison, E. W. Wolpaw, y J. R. Wolpaw, «Brain-computer interface systems: progress and prospects», *Expert Rev. Med. Devices*, vol. 4, n.º 4, pp. 463-474, 2007.
- [12] J. Jerald, *The VR Book: Human-Centered Design for Virtual Reality*. New York, NY, USA: Association for Computing Machinery and Morgan & Claypool, 2016.
- [13] A. B. Craig, W. R. Sherman, y J. D. Will, *Developing virtual reality applications: Foundations of effective design*. Morgan Kaufmann, 2009.
- [14] N. Webster y J. L. McKechnie, *Webster's new universal unabridged dictionary*. Dorset & Baber, 1983.
- [15] I. E. Sutherland, «The ultimate display», *Multimed. Wagner Virtual Real.*, pp. 506-508, 1965.
- [16] D. Shaw, T. Gorely, y R. Corban, *BIOS Instant Notes in Sport and Exercise Psychology*. Routledge, 2004.
- [17] M. Pirovano, «The design of exergaming systems for autonomous rehabilitation», Italy, 2015.
- [18] M. Zyda, «From visual simulation to virtual reality to games», *Computer*, vol. 38, n.º 9, pp. 25-32, 2005.
- [19] S. McCallum, «Gamification and serious games for personalized health», *Stud Health Technol Inf.*, vol. 177, n.º 2012, pp. 85-96, 2012.
- [20] P. M. Kato, «The role of the researcher in making serious games for health», en *Serious Games for Healthcare: applications and implications*, IGI Global, 2013, pp. 213-231.
- [21] I. of D. M. and C. D. W. G. on G. for Health *et al.*, «Games for health for children—Current status and needed research», *Games Health J.*, vol. 5, n.º 1, pp. 1-12, 2016.
- [22] U. Ritterfeld, C. Shen, H. Wang, L. Nocera, y W. L. Wong, «Multimodality and interactivity: Connecting properties of serious games with educational outcomes», *Cyberpsychol. Behav.*, vol. 12, n.º 6, pp. 691-697, 2009.

- [23] C. C. Liao, Z.-H. Chen, H. N. Cheng, F.-C. Chen, y T.-W. Chan, «My-Mini-Pet: a handheld pet-nurturing game to engage students in arithmetic practices», *J. Comput. Assist. Learn.*, vol. 27, n.º 1, pp. 76-89, 2011.
- [24] H. Qin, P.-L. Patrick Rau, y G. Salvendy, «Measuring player immersion in the computer game narrative», *Intl J. Human-Computer Interact.*, vol. 25, n.º 2, pp. 107-133, 2009.
- [25] D. A. Lieberman, «What can we learn from playing interactive games», *Play. Video Games Motiv. Responses Consequences*, pp. 379-397, 2006.
- [26] J. Blascovich y J. Bailenson, *Infinite reality: Avatars, eternal life, new worlds, and the dawn of the virtual revolution*. William Morrow & Co, 2011.
- [27] R. Tamborini y P. Skalski, «The role of presence in the experience of electronic games», *Play. Video Games Motiv. Responses Consequences*, pp. 225-240, 2006.
- [28] M. C. Green y T. C. Brock, «The role of transportation in the persuasiveness of public narratives.», *J. Pers. Soc. Psychol.*, vol. 79, n.º 5, p. 701, 2000.
- [29] P. M. Kato, «Video games in health care: Closing the gap.», *Rev. Gen. Psychol.*, vol. 14, n.º 2, p. 113, 2010.
- [30] J. W. Burke, M. McNeill, D. Charles, P. Morrow, J. Crosbie, y S. McDonough, «Serious games for upper limb rehabilitation following stroke», en *Games and Virtual Worlds for Serious Applications, 2009. VS-GAMES'09. Conference in, 2009*, pp. 103-110.
- [31] H. G. Hoffman, D. R. Patterson, E. Seibel, M. Soltani, L. Jewett-Leahy, y S. R. Sharar, «Virtual reality pain control during burn wound debridement in the hydrotank», *Clin. J. Pain*, vol. 24, n.º 4, pp. 299-304, 2008.
- [32] K. L. Kumpfer, «What works in the prevention of drug abuse: Individual, school and family approaches», *Secr. Youth Subst. Abuse Prev. Initiat. Resour. Pap.*, pp. 69-105, 1997.
- [33] G. Borenstein, *Making things see: 3D vision with kinect, processing, Arduino, and MakerBot*. O'Reilly Media, Inc., 2012.
- [34] W. Sałabun, «Processing and spectral analysis of the raw EEG signal from the MindWave», *Przeglad Elektrotechniczny*, vol. 90, n.º 2, pp. 169-174, 2014.
- [35] J. E. Muñoz, J. F. Villada, C. D. Muñoz, y O. A. Henao, «Multimodal system for rehabilitation aids using videogames», en *Central America and Panama Convention (CONCAPAN XXXIV), 2014 IEEE*, 2014, pp. 1-7.
- [36] J. B. Castaño, J. D. H. Escobar, J. E. M. Cardona, y J. F. L. Herrera, «Shoulder flexion rehabilitation in patients with monoparesia using an exergame», en *Serious Games and Applications for Health (SeGAH), 2014 IEEE 3rd International Conference on, 2014*, pp. 1-5.
- [37] J. Swann, «What is multiple sclerosis?», *Br. J. Healthc. Assist.*, vol. 2, n.º 4, pp. 168-170, 2008.
- [38] M. S. Casanova, J. E. Muñoz, O. A. Henao, y D. S. Lopez, «Exergames as a tool for the assessment of postural balance in a patient with multiple sclerosis».
- [39] R. L. Harvey, R. F. Macko, J. Stein, C. J. Winstein, y R. D. Zorowitz, *Stroke recovery and rehabilitation*. Demos Medical Publishing, 2008.
- [40] H.-Y. Chen y A. M. Wing, «Independent control of force and timing symmetry in dynamic standing balance: Implications for rehabilitation of hemiparetic stroke patients», *Hum. Mov. Sci.*, vol. 31, n.º 6, pp. 1660-1669, 2012.
- [41] J. E. Muñoz, R. Chavarriaga, y D. S. Lopez, «Application of hybrid BCI and exergames for balance rehabilitation after stroke», en *Proceedings of the 11th Conference on Advances in Computer Entertainment Technology*, 2014, p. 67.
- [42] J. Muñoz, O. Henao, J. F. López, y J. F. Villada, «BKI: Brain Kinect Interface, a new hybrid BCI for rehabilitation», en *Games for Health*, Springer, 2013, pp. 233-245.
- [43] M. A. Adams *et al.*, «A theory-based framework for evaluating exergames as persuasive technology», en *Proceedings of the 4th International Conference on Persuasive Technology*, 2009, p. 45.
- [44] R. Parasuraman, J. Christensen, y S. Grafton, *Neuroergonomics: the brain in action and at work*. Academic Press, 2012.

- [45] J. E. Muñoz, L. H. Ríos, y O. A. Henao, «Low cost implementation of a motor imagery experiment with BCI system and its use in neurorehabilitation», en *Conf Proc IEEE Eng Med Biol Soc*, 2014, vol. 2014, pp. 1230-1233.
- [46] D. Z. Blandón, J. E. Munoz, D. S. Lopez, y O. Henao Gallo, «Influence of a BCI neurofeedback videogame in children with ADHD. Quantifying the brain activity through an EEG signal processing dedicated toolbox», en *Computing Conference (CCC), 2016 IEEE 11th Colombian*, 2016, pp. 1-8.
- [47] T. S. Moriyama, G. Polanczyk, A. Caye, T. Banaschewski, D. Brandeis, y L. A. Rohde, «Evidence-based information on the clinical use of neurofeedback for ADHD», *Neurotherapeutics*, vol. 9, n.º 3, pp. 588-598, 2012.
- [48] R. Coben y J. R. Evans, *Neurofeedback and neuromodulation techniques and applications*. Academic Press, 2010.
- [49] M. Arns, S. De Ridder, U. Strehl, M. Breteler, y A. Coenen, «Efficacy of neurofeedback treatment in ADHD: the effects on inattention, impulsivity and hyperactivity: a meta-analysis», *Clin. EEG Neurosci.*, vol. 40, n.º 3, pp. 180-189, 2009.
- [50] B. Sawyer, «From cells to cell processors: the integration of health and video games», *IEEE Comput. Graph. Appl.*, vol. 28, n.º 6, 2008.
- [51] P. A. Teeter, *Interventions for ADHD: Treatment in developmental context*. Guilford Press, 2000.
- [52] J. E. Muñoz, D. S. Lopez, J. F. Lopez, y A. Lopez, «Design and creation of a BCI videogame to train sustained attention in children with ADHD», en *Computing Colombian Conference (10CCC), 2015 10th*, 2015, pp. 194-199.
- [53] S. Schkolnik, «América Latina: la medición de la discapacidad a partir de los censos y fuentes alternativas», *En Los Censos 2010 Salud Inf. Semin.-Taller Santiago CEPAL 2010 P 179-206 LCL 3253*, 2010.
- [54] C. Hurter y D. McDuff, «Cardiolens: remote physiological monitoring in a mixed reality environment», en *ACM SIGGRAPH 2017 Emerging Technologies*, 2017, p. 6.
- [55] S. Li, A. Leider, M. Qiu, K. Gai, y M. Liu, «Brain-Based Computer Interfaces in Virtual Reality», en *Cyber Security and Cloud Computing (CSCloud), 2017 IEEE 4th International Conference on*, 2017, pp. 300-305.