

**Centro de Investigación Científica y de Educación
Superior de Ensenada, Baja California**



**Doctorado en Ciencias
en Ciencias de la Computación**

**Interfaces cerebrales para proporcionar
neuroretroalimentación en apoyo a los problemas
de atención en niños con autismo**

Tesis
para cubrir parcialmente los requisitos necesarios para obtener el grado de
Doctor en Ciencias

Presenta:

José Carlos Mercado Chan

Ensenada, Baja California, México
2019

Tesis defendida por

José Carlos Mercado Chan

y aprobada por el siguiente Comité

Dra. Mónica Elizabeth Tentori Espinosa
Co-Directora de tesis

Dra. Lizbeth Olivia Escobedo Bravo
Co-Directora de tesis

Dr. Jesús Favela Vara

Dr. Edgar Leonel Chávez González

Dra. Marina Alvelais Alarcón



Dr. Ubaldo Ruiz López
Coordinador del Posgrado en Ciencias de la Computación

Dra. Rufina Hernández Martínez
Directora de Estudios de Posgrado

José Carlos Mercado Chan © 2019

Queda prohibida la reproducción parcial o total de esta obra sin el permiso formal y explícito del autor y director de la tesis.

Resumen de la tesis que presenta **José Carlos Mercado Chan** como requisito parcial para la obtención del grado de Doctor en Ciencias en Ciencias de la Computación.

**Interfaces cerebrales para proporcionar neuroretroalimentación
en apoyo a los problemas de atención en niños con autismo**

Resumen aprobado por:

Dra. Mónica Elizabeth Tentori Espinosa
Co-Directora de tesis

Dra. Lizbeth Olivia Escobedo Bravo
Co-Directora de tesis

Se estima que la prevalencia a nivel mundial del autismo es de 1 por cada 59 niños. Estudios indican que 50-70% de los niños con autismo además tienen TDAH. Las habilidades de atención son críticas para el aprendizaje y el desarrollo apropiado, por lo que los problemas de atención interfieren en la eficacia cognitiva, socialización, salud, seguridad y calidad de vida de los niños con autismo. La neuroretroalimentación consiste en un entrenamiento para la autoregulación y control de la actividad cerebral, y se ha demostrado que puede utilizarse como una intervención para tratar los problemas de atención de los niños con autismo. Sin embargo, presentan algunas desventajas: generalmente involucra sistemas complejos y costosos, requiere el apoyo de un especialista con conocimientos clínicos y técnicos para usar el equipo y software necesario, y frecuentemente los niños con autismo encuentran las visualizaciones de la actividad cerebral muy abstractas y confusas. Como consecuencia, en el área de Interacción Humano-Computadora, se ha comenzado a explorar el uso de video-juegos BCI, para proporcionar una retroalimentación más comprensible y que ayude a mantener la atención del niño durante las sesiones de neuroretroalimentación; sin embargo, aún falta evidencia científica para respaldar como el uso de video-juegos BCI ayuda a mejorar la eficacia de la neuroretroalimentación en el caso de los niños con autismo. En esta tesis se describe el proceso de diseño, implementación y evaluación de FarmerKeeper, un video-juego BCI diseñado para apoyar sesiones de neuroretroalimentación de niños con autismo, controlado mediante un dispositivo BCI comercial. FarmerKeeper se diseñó utilizando una metodología centrada en el usuario y consiste en un video-juego BCI tipo *corredor* con temática de la granja que implementa las fases típicas de una sesión de neuroretroalimentación. El objetivo principal es mantener la atención del usuario por arriba de un umbral para controlar un personaje que va buscando los animales perdidos de la granja para regresarlos a sus corrales. Se realizó una evaluación formativa para evaluar la usabilidad y experiencia de uso de FarmerKeeper con un estudio intra-sujetos, donde participaron 12 niños con autismo. Después, se realizó una evaluación sumativa para evaluar la eficacia de FarmerKeeper, en términos de disminuir los problemas de atención de los niños con autismo, con un estudio entre-sujetos, donde participaron 26 niños con autismo, asistiendo a 13 sesiones de neuroretroalimentación; la mitad usando FarmerKeeper (grupo experimental), y la otra mitad usando Caricaturas (grupo control). Se realizaron mediciones pre-condición y post-condición en ambos grupos mediante una prueba psicométrica y un cuestionario de atención. Con base en los resultados de las evaluaciones se encontró que FarmerKeeper es una herramienta que mantiene el enganche y motivación de los niños con autismo durante las sesiones de neuroretroalimentación y que es adecuada para apoyar estas sesiones. Además de ser una herramienta un poco más apropiada para mejorar principalmente la atención sostenida de los niños con autismo, en comparación con otros video-juegos BCI y el uso de Caricaturas. Por último, en este trabajo se mencionan implicaciones clínicas y técnicas para el desarrollo de video-juegos BCI en apoyo a sesiones de neuroretroalimentación, y se mencionan retos futuros en base a las limitaciones que se presentaron durante esta investigación.

Palabras clave: BCI, Interfaz cerebral, video-juego BCI, autismo, neuroretroalimentación, problemas de atención

Abstract of the thesis presented by **José Carlos Mercado Chan** as a partial requirement to obtain the Doctor of Science degree in Computer Science.

**Brain-Computer Interfaces to provide neurofeedback
to support the attention problems of children with autism**

Abstract approved by:

Dra. Mónica Elizabeth Tentori Espinosa

Co-Directora de tesis

Dra. Lizbeth Olivia Escobedo Bravo

Co-Directora de tesis

Worldwide, the prevalence of autism is estimated as 1 in 59 children. Studies indicate that 50-70% of children with autism also have ADHD. Since attention skills are critical for appropriate learning and development, attention problems interfere with the cognitive efficacy, socialization, health, safety, and quality of life of children with autism. Neurofeedback consists of training for self-regulation and control of brain activity, and it has been shown to be used as an intervention to treat the attention problems of children with autism. However, it has some disadvantages that usually involves complex and costly systems, requires the support of a specialist with clinical and technical knowledge to use the necessary equipment and software, and children with autism often find the visualizations of the brain activity too abstract and confusing. Consequently, in the area of Human-Computer Interaction, the use of BCI video games has begun to be explored to provide more understandable feedback and to help maintain the child's attention during neurofeedback sessions. Nevertheless, scientific evidence is still lacking to support how the use of BCI video games helps improve the effectiveness of neurofeedback in the case of children with autism. This thesis describes the process of designing, implementing, and evaluating FarmerKeeper, a BCI video game designed to support neurofeedback sessions of children with autism, controlled by a consumer-grade BCI device. FarmerKeeper was designed using a user-centered methodology and consists of a *runner* BCI video game with the topic of a farm that implements the typical phases of a neurofeedback session. The main objective of FarmerKeeper is to keep the user's attention above a threshold to control a character who is looking for lost farm animals to return them to their pens. A within-subjects study with 12 children with autism was conducted as a formative evaluation to evaluate the usability and user experience of FarmerKeeper. Then, a between-subjects study with 26 children with autism attending 13 neurofeedback sessions each one was conducted as a summative evaluation in order to evaluate the effectiveness of FarmerKeeper in terms of decreasing the attention problems of children with autism; one half of the participants using FarmerKeeper (experimental group), and the other half using Cartoons (control group). Pre-condition and post-condition measurements were made in both groups using a psychometric test and an attention questionnaire. Based on the results of the evaluations it was found that FarmerKeeper is a tool that maintains the engagement and motivation of children with autism during neurofeedback sessions and that it is adequate to support these sessions. Also, results show FarmerKeeper to being a slightly more appropriate tool to improve the sustained attention and attentional control of children with autism compared to other BCI video games and the use of Cartoons. Finally, this work describes clinical and technical implications for the development of BCI video games to support of neurofeedback sessions and describes future challenges based on the limitations presented during this research.

Keywords: BCI, Brain-Computer Interface, BCI video game, autism, neurofeedback, attention problems

Dedicatoria

A mis padres

Agradecimientos

A mis padres, por todas sus enseñanzas y la formación que me han brindado. A mis hermanos, por siempre estar ahí, brindándome su motivación y apoyo. A toda mi familia.

A mis codirectores de tesis, la Dra. Mónica Tentori y la Dra. Lizbeth Escobedo, y a los miembros del comité de tesis, el Dr. Jesús Favela, el Dr. Edgar Chávez, y la Dra. Marina, por sus enseñanzas y apoyo, así como por su tiempo, interés, consejos y aportaciones brindadas para la realización de este trabajo de tesis.

A todos los investigadores, estudiantes y personal del departamento de ciencias de la computación por su enseñanza académica, su ayuda y apoyo.

A todas las personas involucradas en el desarrollo de este trabajo de tesis, como son los diseñadores y programadores que participaron en el desarrollo de FarmerKeeper, así como a Pasitos A.C. y su personal por abrirnos las puertas y apoyarnos en la realización de las evaluaciones requeridas para este trabajo de tesis.

Al Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada (CICESE) por haberme abierto las puertas y brindarme la infraestructura necesaria para mi formación académica.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) por brindarme el apoyo económico para realizar mis estudios de doctorado.

Tabla de contenido

Resumen en español	ii
Resumen en inglés.....	iii
Dedicatoria.....	iv
Agradecimientos	v
Lista de figuras	ix
Lista de tablas	xiii
Capítulo 1. Introducción.....	1
1.1 Antecedentes	1
1.1.1 Problemas de atención en niños con autismo	2
1.1.2 Intervenciones para mejorar la atención de niños con autismo.....	3
1.2 Planteamiento del problema	10
1.2.1 Preguntas de investigación	12
1.2.2 Objetivos	12
1.3 Metodología	13
1.3.1 Entendimiento.....	14
1.3.2 (Re)Diseño	15
1.3.3 Evaluación	15
1.4 Estructura de la tesis	16
Capítulo 2. Trabajo relacionado.....	18
2.1 Neuroretroalimentación tradicional	18
2.2 Aplicaciones lúdicas para la neuroretroalimentación tradicional.....	20
2.3 Video-juegos BCI para las sesiones de neuroretroalimentación	21
Capítulo 3. Diseño e implementación	26
3.1 Diseño contextual.....	26
3.2 Neuroretroalimentación en el autismo – una sesión típica.....	28
3.3 Implicaciones de diseño para el desarrollo de un video-juego BCI para apoyar sesiones de neuroretroalimentación de niños con autismo	30
3.3.1 Promover el enganche	30
3.3.2 Imitar estrategias actuales de ayudas.....	33

3.3.3 Promover una buena postura	35
3.4 Implementando FarmerKeeper.....	37
3.4.1 Mecánicas y características de juego	37
3.4.2 Escenario de uso.....	40
3.4.3 Arquitectura de FarmerKeeper	42
3.5 Resumen y conclusiones	44
Capítulo 4. Evaluación formativa	47
4.1 Métodos	48
4.1.1 Participantes.....	48
4.1.2 Instalación	49
4.1.3 Procedimiento	50
4.1.4 Recolección de datos.....	53
4.1.5 Análisis de datos.....	54
4.2 Resultados.	56
4.2.1 Usabilidad.....	56
4.2.1 Experiencia de uso.	57
4.3 Resumen y conclusiones	65
Capítulo 5. Evaluación sumativa	67
5.1 Métodos	68
5.1.1 Participantes.....	68
5.1.2 Instalación	69
5.1.3 Procedimiento	69
5.1.4 Recolección de datos.....	72
5.1.5 Análisis de datos.....	76
5.2 Resultados	79
5.2.1 Atención	79
5.2.2 Control de la atención	84
5.2.3 Atención Sostenida.....	86
5.2.4 Ejemplos de casos de estudio	90
5.2.5 Otros beneficios potenciales.....	99
5.3 Resumen y conclusiones	101

Capítulo 6. Conclusiones y trabajo futuro	103
6.1 Conclusiones.....	103
6.2 Aportaciones	106
6.3 Limitaciones y suposiciones	107
6.4 Trabajo futuro	110
Literatura citada	112
Anexos	119
Anexo 1: Ejemplo de formato de consentimiento	119
Anexo 2: Cuestionario de Experiencia de Juego (GEQ) – Modulo núcleo del juego.....	122
Anexo 3: Cuestionario de Escala de Usabilidad del Sistema (SUS)	124
Anexo 4: Cuestionario de experiencia de uso (UEQ)	125
Anexo 5: Protocolo de entrevista a maestro/psicólogo durante la evaluación formativa	126
Anexo 6: Cuestionario TDAH-P – Sub-prueba de inatención	127

Lista de figuras

Figura 1. Ilustración de la configuración de la neuroretroalimentación que muestra a un niño con los electrodos en el cuero cabelludo mirando una pantalla y tratando de regular su actividad cerebral utilizando la retroalimentación que le da la aplicación (Mirjam E J Kouijzer et al., 2010).	7
Figura 2. Dispositivos BCIs comerciales.....	9
Figura 3. Etapas de la metodología de investigación utilizadas en este trabajo.	14
Figura 4. Ejemplo de visualización en sesiones de neuroretroalimentación tradicional. Barras de actividad cerebral y líneas de umbral. Por ejemplo, en la imagen se le pide al usuario que mantenga por debajo de la línea del umbral la primera barra y las otras dos por arriba del umbral.	19
Figura 5. Captura de pantalla de diferentes aplicaciones lúdicas para neuroretroalimentación: a) juego del buzo (Cmiel et al., 2011), b) cara sonriente (Bakhshayesh et al., 2011), c) juego del chango (Bakhshayesh et al., 2011), y d) juego de la pelota (Bakhshayesh et al., 2011).	20
Figura 6. Las columnas muestran 3 niveles de texturas basadas en neuroretroalimentación. Cada fila corresponde a los efectos personalizados para dos diferentes tipos de juegos (Mandryk et al., 2012).	22
Figura 7. Dancing Robot y Brain Chi (Wang et al., 2010).	23
Figura 9. Fotografías de dos intervenciones de neuroretroalimentación. Video-juego BCI de carreras de carros (Choon Guan Lim et al., 2010) (izquierda) y video-juego BCI CogoLand (Lim et al., 2012) (derecha).....	24
Figura 8. Capturas de pantalla de MindLigth. Captura de pantalla de la luz brillando cuando el jugador esta calmado (izquierda) y Captura de pantalla descubriendo un momento de miedo (derecha). (Schoneveld et al., 2016)	24
Figura 10. Diagrama de las fases de una sesión de neuroretroalimentación	28
Figura 11. Cambios principales en el objetivo principal de la fase de actividad en el prototipo inicial de FarmerKeeper. Recolectando monedas en la fase de actividad (izquierda), buscando animales durante la fase de actividad (centro), y diferentes tipos de cochitos que se muestran en el camino como recompensas de logros a corto plazo (derecha).	32
Figura 12. Sección de configuración/personalización de FarmerKeeper. Menú de usuarios (arriba-izquierda), Perfil/Configuración del usuario (arriba-centro), y Menú principal (arriba-derecha). Historia (abajo-izquierda), selección y personalización del personaje (abajo-centro) y mapa de escenarios (abajo-derecha).	38

Figura 13. Sección de la sesión de Neuroretroalimentación de FarmerKeeper. Fases de Relajación (arriba-izquierda), Actividad (arriba-centro) y Descanso (arriba-derecha). La fase de Actividad en un momento de no atención (abajo-izquierda) y en un momento de movimiento (abajo-derecha).	39
Figura 14. Arquitectura de FarmerKeeper.	43
Figura 15. Capturas de pantalla de FarmerKeeper (izquierda) y BrainCats (derecha), condiciones usadas durante las sesiones de neuroretroalimentación.....	47
Figura 16. Una imagen capturada por la video cámara (vista lateral-trasera) mostrando la instalación del hardware en el cuarto de terapias de Pasitos para realizar las sesiones de Neuroretroalimentación.	49
Figura 17. Procedimiento del estudio de la evaluación formativa.	50
Figura 18. Sesiones de Neuroretroalimentación. Una imagen capturada de la video-cámara (vista lateral-trasera) durante las sesiones de neuroretroalimentación utilizando FarmerKeeper (izquierda) y BrainCats (derecha).	51
Figura 19. Resultados del cuestionario SUS. El puntaje tiene un valor entre 0 y 100, donde 0 significa que el usuario encontró el Sistema absolutamente inutilizable y 100 que el usuario encontró el sistema óptimamente utilizable. Los resultados mayores a 68 Son considerados “aceptables”.	57
Figura 20. Resultados del cuestionario UEQ comparados con los datos de referencia del cuestionario....	59
Figura 21. Resultados del módulo núcleo del juego del cuestionario GEQ. Los puntajes van de 0 a 4. (para * un puntaje menor es mejor).	60
Figura 22. Resultados del cuestionario FunSorter.	61
Figura 23. Porcentaje del tiempo de atención durante cada sesión de neuroretroalimentación, por participante. (Datos del análisis de la codificación de videos).	62
Figura 24. Emociones positivas (izquierda) y negativas (derecho) durante la sesión completa de neuroretroalimentación, por participante.	63
Figura 25. Emociones positivas (izquierda) y negativas (derecho) durante la última fase de Actividad de la sesión de neuroretroalimentación, por participante.	64
Figura 26. Resultados de los datos del sensor de seguimiento ocular. Imagen de los mapas de calor promedios de todos los participantes de FarmerKeeper (izquierda) y BrainCats (derecha) con un filtro de suavizado de 20%.	65
Figura 27. Capturas de pantalla de FarmerKeeper (izquierda) y Caricaturas “Untalkative Bunny” (derecha), condiciones usadas durante las sesiones de neuroretroalimentación.	67

- Figura 28. Una foto de las sesiones de neuroretroalimentación, mostrando la instalación del hardware para el estudio en un cuarto de terapia de Pasitos.69
- Figura 29. Procedimiento del estudio de la evaluación sumativa.....70
- Figura 30. Ejemplos de ensayos de la prueba CRSD-ant. Objeto objetivo con distractores en la misma dirección (izquierda) Y objeto objetivo con distractores en dirección contraria (derecha).73
- Figura 31. Modificaciones a la prueba CRSD-ant para adecuarla a los niños con autismo del estudio. Ejemplo del objeto objetivo con distractores en dirección contraria (izquierda) e interfaz de entrada utilizada para realizar la prueba (derecha).75
- Figura 32. Promedio del porcentaje del tiempo total durante el cual el valor de atención de los participantes era mayor o igual al umbral predefinido de 40. Participantes de la condición de Caricaturas (izquierda arriba) y de FarmerKeeper (izquierda abajo). Comparación del tiempo promedio de atención entre los participantes de ambas condiciones (derecha).80
- Figura 33. Resultados pre-condición y post-condición de la sub-prueba de inatención de la prueba TDAH-P para ambas condiciones. Participantes de Caricaturas (izquierda) y participantes de FarmerKeeper (derecha). *Un valor menor es mejor, es decir, un valor menor significa menores problemas de inatención.82
- Figura 34. Comparación de los puntajes pre-condición y post-condición de la sub-prueba de inatención de la prueba TDAH-P para ambas condiciones. *Un valor menor es mejor, es decir, un valor menor significa menos problemas de inatención.83
- Figura 35. Promedio del número de cambios entre el valor del umbral para ambas condiciones durante las 3 fases de actividad de las sesiones por participante. Participantes de Caricaturas (izquierda arriba) y participantes de FarmerKeeper (izquierda abajo). Comparación del control atencional entre los participantes de ambas condiciones (derecha). * Un valor menor es mejor, es decir, en mejor cuando hay menos número de cambios.85
- Figura 36. Promedio de atención sostenida durante las fases de actividad por participante. Es decir, promedio del tamaño de un bloque con valores consecutivos igual/mayor al umbral predefinido. Participantes de Caricaturas (izquierda arriba) y participantes de FarmerKeeper (izquierda abajo). Comparación de la atención sostenida entre los participantes de ambas condiciones (derecha).....87
- Figura 37. Resultados pre-condición y post-condición de la prueba CRSD-ant para ambas condiciones. Participantes de Caricaturas (izquierda) y participantes de FarmerKeeper (derecha). El promedio control es el puntaje promedio reportado en el estudio de validación de la prueba CRSD-ant.88
- Figura 38. Comparación de los puntajes pre y post de la prueba de alerta de CRSD-ant para ambas condiciones.89

- Figura 39. Criterios de selección para clasificar a los casos de participantes. Participantes de Caricaturas (arriba) y participantes de FarmerKeeper (abajo). Se busca que el valor de atención y atención sostenida sea mayor, mientras que el valor de control atencional*, que corresponde al número de cambios, sea menor.90
- Figura 40. Análisis de los datos sensados por el dispositivo BCI para la condición de Caricaturas. Porcentaje de tiempo igual/mayor al umbral (renglón 1), número de cambios entre el umbral (renglón 2, *menor es mejor), y tiempo promedio de un bloque de atención sostenida (renglón 3). Para el mejor caso (C-P7, columna 1), un caso promedio (C-P3, columna 2), y el peor caso (C-P9, columna 3).91
- Figura 41. Análisis de los puntajes pre-condición y post-condición para el mejor caso, el caso promedio y el peor caso de los participantes de la condición de Caricaturas. Puntajes de la sub-prueba de alerta (atención sostenida) de la prueba CRSD-ant (izquierda). Puntajes de la sub-prueba de inatención de la prueba TDAH-T (derecha).92
- Figura 42. Análisis de los datos sensados por el dispositivo BCI para la condición de FarmerKeeper. Porcentaje de tiempo igual/mayor al umbral (renglón 1), número de cambios entre el umbral (renglón 2, *menor es mejor), y tiempo promedio de un bloque de atención sostenida (renglón 3). Para el mejor caso (F-P7, columna 1), un caso promedio (F-P5, columna 2), y el peor caso (F-P13, columna 3).95
- Figura 43. Análisis de los puntajes pre-condición y post-condición para el mejor caso, el caso promedio y el peor caso de los participantes de la condición de FarmerKeeper. Puntajes de la sub-prueba de alerta (atención sostenida) de la prueba CRSD-ant (izquierda). Puntajes de la sub-prueba de inatención de la prueba TDAH-T (derecha).96

Lista de tablas

Tabla 1. Colección de datos y actividades realizadas para diseñar FarmerKeeper.....	27
Tabla 2. Cuestionarios aplicados durante la evaluación formativa.	53
Tabla 3. Definición del esquema de codificación utilizado para codificar los comportamientos.....	55
Tabla 4. Resultados del cuestionario UEQ contestado por los maestros (N=8) para evaluar BrainCats (izquierda) y FarmerKeeper (derecha). Los puntajes van de -1 a 2.5. Con los intervalos de confianza ($p=0.05$) por categoría. El valor de confianza es una medida de la precisión de la estimación del promedio, entre más chico sea el valor de confianza, más alta es la precisión de la estimación. .	58

Capítulo 1. Introducción

1.1 Antecedentes

El autismo se define en el DSM-5 (American Psychiatric Association, 2013) como un trastorno del neurodesarrollo caracterizado por deficiencias persistentes en la comunicación e interacción social en diversos contextos, así como por patrones restrictivos y repetitivos de comportamiento, intereses, o actividades. Estos síntomas comienzan a manifestarse en las primeras fases del desarrollo y causan un deterioro clínicamente significativo (American Psychiatric Association, 2013). Se estima que la prevalencia a nivel mundial del autismo es de 1 por cada 59 niños (Baio et al., 2018). En particular en México, se reporta que un niño de cada 115 tiene autismo (Fombonne et al., 2016).

La severidad del autismo se estima en función a los síntomas y la cantidad de apoyo que necesitan los niños con autismo para comunicarse con otros y realizar sus actividades. Existen tres niveles de autismo: severo, moderado, y leve. Por ejemplo, los niños con autismo severo presentan serios problemas de comunicación y de socialización, son generalmente no verbales, no tienen interacción social, muestran movimientos estereotipados y pueden ser hipersensibles a la luz, al sonido y al tacto; por lo que, requerirán de apoyo muy sustancial o sustancial. Por el contrario, los niños con autismo leve requieren de poco apoyo, generalmente no tienen problemas serios de lenguaje, pueden moverse independientemente, pero sus comportamientos e interacciones sociales pueden parecer “atípicos” –por ejemplo, usan un tono de voz extraño y pueden parecer groseros e invadir el espacio personal cuando hablan con otros (Ochs et al., 2004).

Estudios indican que entre el 50-70% de los niños con autismo también tienen trastorno por déficit de atención e hiperactividad (TDAH) (Antshel et al., 2016). Debido a ésta común comorbilidad entre el autismo y el TDAH, los niños con autismo con frecuencia muestran poca o nula atención, no cooperan en sus actividades y son impacientes al esperar sus turnos (Goldstein et al., 2001; Keehn et al., 2013).

Las habilidades de atención son críticas para el aprendizaje y el desarrollo apropiado para la edad (May et al., 2013), por lo que los problemas de atención son de suma importancia para el desarrollo de los niños con autismo, ya que interfieren en la eficacia cognitiva, socialización, salud, seguridad y calidad de vida de los niños con autismo (Heyvaert et al., 2014).

1.1.1 Problemas de atención en niños con autismo

La atención es un proceso psicológico básico e indispensable para el procesamiento de la información y para la realización de cualquier actividad. El proceso de atención es sustentado por un complejo sistema neuronal, encargado de controlar toda la actividad cerebral (Gómez-Pérez et al., 2003; Ocampo, 2009). En psicología se considera a la atención como un constructo, cuya definición es difícil o controvertida. Sin embargo, de manera generalizada podemos definir la atención como: “los procesos cognitivos que permiten seleccionar, centrarse en, y mantener el manejo de información. El objeto de atención puede ser un estímulo del entorno que son activamente procesados por los sistemas sensoriales, así como también información asociada y respuestas generadas por la actividad cognitiva que se esté realizando” (Kreutzer et al., 2011).

Existen varias teorías que intentan explicar los procesos que se llevan a cabo en la atención, dividiendo la atención en subprocesos específicos y centrándose en diferentes características de este proceso cognitivo (Mirsky et al., 1991; Posner y Petersen, 1990). Una de las más aceptadas es la teoría de Posner y Petersen (1990), cuyo modelo explica que la atención se puede dividir en tres redes anatómicas y funcionalmente definidas, las cuáles interactúan entre sí. Estas tres redes atencionales son las siguientes:

- **Red de vigilancia/alerta (Atención Sostenida):** es la encargada de ayudarnos a mantener el estado de vigilancia y activación para la detección rápida de un estímulo esperado. Dentro de esta red atencional, se encuentra lo que conocemos como *Atención Sostenida*. Por ejemplo, leer por un período de tiempo sin tomar un descanso; trabajar en una actividad simple y repetitiva por un tiempo.
- **Red de orientación (Atención Selectiva):** implica focalizar estímulos nuevos o cambiantes, produce la preparación para analizar el estímulo. Esta red atencional corresponde a lo que conocemos de manera general como *Atención Selectiva*. Por ejemplo, realizar una tarea mientras hay música de fondo; tener una conversación en un área donde hay más gente hablando; encontrar un objeto específico de entre varios objetos.
- **Red de control ejecutivo (Control Atencional):** está relacionada con todos los procesos que nos ayudan a regular nuestra conducta y cognición. Esta red es la que se encarga de inhibir información distractora, de inhibir conductas habituales cuando no son necesarias y también de monitorizar nuestra conducta de manera que podamos adaptarnos a las circunstancias que nos presente el

entorno. También se le conoce como *Control Atencional*. Por ejemplo, escuchar una lectura y tomar notas; estar realizando una actividad específica, atender una interrupción, y volver a la actividad que se estaba realizando.

En el caso de los niños con autismo es muy probable que las dificultades de atención exacerben los problemas del sistema cognitivo ya comprometido, generando mayores problemas emocionales y de comportamiento (May et al., 2013). Las habilidades para prestar atención y enfocarse en una tarea, cambiar la atención entre tareas, inhibir la respuesta impulsiva, y sostener y usar información mentalmente son habilidades críticas para el aprendizaje y desarrollo de otras funciones (May et al., 2013).

Así, los problemas de atención en los niños con autismo representan una de las principales preocupaciones para los padres (Leyfer et al., 2006). También se ha encontrado que existe una fuerte asociación entre los síntomas del Trastorno por Déficit de Atención e Hiperactividad (TDAH) en el autismo, manifestándose más los síntomas relacionados a la atención que los relacionados con la hiperactividad (Leyfer et al., 2006; Mayes et al., 2012).

En esta tesis nos interesa estudiar principalmente los problemas de la Red de vigilancia/alerta o Atención Sostenida en niños con autismo, ya que es el tipo de atención donde un niño con TDAH y autismo presenta más dificultades (Goldstein et al., 2001; Keehn et al., 2013). Además, a las dificultades en la atención sostenida se suma la incapacidad del niño con TDAH y autismo para resistirse a las distracciones, por lo que también se abordará un poco la Red de control ejecutivo o Control Atencional (Goldstein et al., 2001; Keehn et al., 2013).

1.1.2 Intervenciones para mejorar la atención de niños con autismo

Aunque en la actualidad no existe una cura para el autismo, la intervención temprana es importante, ya que permite a los niños con autismo mejorar su comportamiento y sus habilidades de cognición, comunicación y socialización, permitiéndoles integrarse en la sociedad y vivir una vida como una persona neurotípica (Rogers, 1996).

Dentro de las intervenciones que influyen en los problemas de atención podemos encontrar las terapias de modificación de comportamiento, los tratamientos farmacológicos y la neuroretroalimentación.

1.1.2.1 Terapias de modificación de comportamiento

Las terapias de modificación de comportamiento se basan en trabajar las habilidades de cognición, comunicación, y socialización con el fin de mejorar el comportamiento de los niños con autismo. Las más utilizadas son las siguientes:

ABA - Análisis del comportamiento aplicado (Strain y Schwartz, 2001): su objetivo principal es mejorar la interacción social, el comportamiento, y la comunicación. Se basa firmemente en los principios del condicionamiento operante y mide pequeñas unidades del comportamiento para construir comportamientos más complejos y adaptativos a través del refuerzo. Típicamente se empieza por dirigir la imitación, la atención, la motivación, y la conformidad. Es un programa intensivo y altamente estructurado y se realiza de manera individualizada, siendo necesarias unas 40hrs. o más por semana durante dos o más años (Coben et al., 2010; Eikeseth, 2009).

TEACCH – Tratamiento y Educación de niños con Autismo y Problemas de Comunicación Relacionados (Mesibov et al., 2004): utiliza principios de comportamiento para maximizar las habilidades de los niños con autismo. Se provee de configuraciones estructuradas y los maestros utilizan espacios de trabajo individuales donde los niños pueden practicar sus habilidades. En un mismo salón de clases pueden existir varios maestros, cada uno enfocado al desarrollo de las terapias de una habilidad específica. Un maestro y un asistente pueden atender a cinco niños a la vez, enfocándose al desarrollo individual de las habilidades. Se hace uso de gestos, imágenes, señales o palabras impresas para apoyar las terapias. También se hace énfasis en los padres como co-terapeutas para continuar con las terapias en casa (Coben et al., 2010; Eikeseth, 2009).

Floortime - Tiempo de suelo (Greenspan y Wieder, 2009): tiene como objetivo estimular la interacción cara a cara, uno a uno. Ayudar a los padres y profesionales a abrir y cerrar círculos de comunicación, con el fin de fomentar la capacidad interactiva y de desarrollo del niño. Es una interacción no estructurada, dirigida por los propios intereses del niño. Los profesionales o los miembros de la familia pueden turnarse para trabajar con el niño en sesiones de 20-30 minutos, hasta llegar a un máximo de ocho sesiones diarias, según las necesidades del niño. Además de las capacidades interactivas del niño, se trabajan habilidades relacionadas con la percepción, el lenguaje, la exploración motora y el proceso sensorial.

En general estas terapias deben incluir mínimo 20hrs. de intervención a la semana para obtener resultados significativos (Coben et al., 2010). También se establece que los padres deben incluirse en las

intervenciones y capacitarse en las terapias de modificación de comportamiento para poder aplicarlas en casa. Aunque estudios mayores a un año del uso de estas terapias demuestran mejoras significativas; estas terapias son costosas y requieren mucho tiempo de parte de los terapeutas así como de los padres y familiares cercanos (Coben et al., 2010).

1.1.2.2 Tratamientos psicofarmacológicos

Algunos autores sugieren que alrededor del 30-47% de los niños con autismo reciben tratamientos psicofarmacológicos que les permiten incrementar su independencia en la realización de tareas y disminuir algunos síntomas del autismo (Aman y Langworthy, 2000; Witwer y Lecavalier, 2005). Los tratamientos psicofarmacológicos con demostración de eficacia clínica son los psicoestimulantes, los inhibidores de la re-captación de noradrenalina, los antipsicóticos y los agonistas alfa-adrenérgicos (Aman et al., 2008).

De acuerdo con los modelos neuropsicológicos, el enfoque farmacológico podría requerir diferentes tratamientos según el tipo de déficit atencional (Grañana, 2009). Así, para aquellos niños con autismo y déficits de atención sostenida típicos del TDAH pueden ser de utilidad psicoestimulantes tipo metilfenidato, antidepressivos tipo atomoxetina. Sin embargo, se deben tener en cuenta los efectos colaterales, como las estereotipias, que se encuentran incrementadas en estos pacientes. Se observa una modesta respuesta con clonidina, especialmente en aquellos pacientes con conductas disruptivas y trastornos del sueño.

Si las dificultades están en la atención selectiva y el control atencional, serían útiles las medicaciones que favorecen la organización del pensamiento y la conducta, como los neurolépticos atípicos, entre ellos la risperidona, la olanzapina y el aripiprazole. Los psicoestimulantes podrían exacerbar la focalización y, en este caso, empeorarían los síntomas.

En el caso de producirse fallas por perseveraciones, compulsiones y conductas obsesivas, que alteran el desenganche o cambio atencional, son efectivos los antiobsesivos del tipo inhibidores selectivos de la re-captación de serotonina (IRSS), como la fluoxetina, las fluvoxamina y la sertralina.

Se debe considerar que los beneficios de estos tratamientos llevan consigo efectos secundarios y pueden influir en un comportamiento agresivo cuando se suspenden. Además, los medicamentos por lo general

tratan únicamente ciertos síntomas y en ocasiones un niño con autismo requeriría múltiples medicamentos para mejorar varios de los síntomas presentes en el autismo. Por lo que existe un debate abierto sobre el uso de los tratamientos farmacológicos y la duración de sus efectos una vez suspendidos (Lofthouse et al., 2012).

1.1.2.3 Neuroretroalimentación

La neuroretroalimentación es un tratamiento alternativo que comenzó a utilizarse a finales de los años 60s en personas con problemas de epilepsias, creciendo poco a poco sus áreas de aplicación entre las que destacan: discapacidades del desarrollo, mejoramiento cognitivo y de memoria, abuso de sustancias y alcoholismo, personalidad antisocial y criminal, desorden de estrés postraumático, ansiedad y depresión, insomnia, dolor de cabeza y migraña, TDAH, entre otros (Hammond, 2011).

Debido al impacto positivo de la neuroretroalimentación, en especial en niños con TDAH, en los últimos años esta terapia ha cobrado importancia dentro de los tratamientos alternativos para el autismo ya que se tiene evidencia de que reduce hasta un 42% los síntomas generales del autismo (Coben et al., 2010). Esto incluye una disminución del 55% del déficit de interacción social, una mejora de 55% del déficit de comunicación, y una mejora de 52% del déficit de interacción social.

De manera similar, otros han demostrado que la neuroretroalimentación genera buenos resultados cuando se trabaja con niños con autismo, en especial cuando también se manifiestan algunos síntomas del TDAH (Holtmann et al., 2011). El uso de la neuroretroalimentación tiene resultados positivos en la función cerebral, la atención, el coeficiente intelectual, la impulsividad, la comunicación, el comportamiento estereotipado y repetitivo, y las interacciones sociales.

La neuroretroalimentación, o bioretroalimentación EEG (Electroencefalograma), consiste en un entrenamiento para la autorregulación y control de la actividad eléctrica cerebral. La actividad cerebral genera pequeñas señales eléctricas que se pueden medir y capturar por medio de un EEG utilizando electrodos colocados en el cuero cabelludo y/o en otras áreas de la cabeza del niño, como en los lóbulos de las orejas, el mastoideo, la barbilla, o en el nasión (Schwartz y Andrasik, 2017). Es un tratamiento no invasivo, por lo que estos electrodos solo miden la actividad cerebral del niño y no mandan ningún tipo de señal eléctrica hacia el cerebro. Estos electrodos se conectan a un amplificador EEG. Los datos del EEG se

pueden leer en tiempo real y se presentan al niño a través de estímulos visuales y/o auditivos (Hammond, 2011). Por ejemplo, el niño puede consultar una barra que incrementa o disminuye el tamaño dependiendo de si su actividad cerebral se encuentra por arriba o por debajo de un umbral. El objetivo de la neuroretroalimentación es que el niño aprenda a controlar y autorregular su actividad cerebral para mantener las barras lo más cerca posible del umbral predefinido por el encargado de aplicar la neuroretroalimentación (Coben et al., 2010). También, se pueden utilizar video-juegos BCI¹, en los cuales, un mejor control y una mejora en los patrones de la actividad cerebral del niño, incrementan el puntaje y ocurre un progreso en el video-juego BCI (ver Figura 1). La única manera de seguir avanzando en el video-juego BCI es que el niño mejore las funciones de su actividad cerebral (Coben et al., 2010).



Figura 1. Ilustración de la configuración de la neuroretroalimentación que muestra a un niño con los electrodos en el cuero cabelludo mirando una pantalla y tratando de regular su actividad cerebral utilizando la retroalimentación que le da la aplicación (Mirjam E J Kouijzer et al., 2010).

Una sesión de neuroretroalimentación normalmente dura entre 20 y 30 minutos, y no se han reportado efectos secundarios permanentes de las sesiones de neuroretroalimentación. Aunque en ocasiones se reportan fatigas y dolores de cabeza que se manifiestan *“solo por unos momentos después del entrenamiento (Hammond, 2011)”*. Estos efectos por lo general se presentan en las primeras sesiones, cuando el tiempo de la sesión es muy largo o debido a la demanda atencional, tensión muscular o frustración que el individuo experimenta por no lograr encontrar esa autorregulación de las ondas cerebrales –es decir, el patrón que se busca para mantenerse en el umbral deseado (Hammond, 2011). Para evitar estos síntomas, especialmente en los nuevos usuarios, es recomendable subdividir la sesión en bloques, realizando varias actividades entre 3 a 10 min cada una, y entre cada actividad tomar descansos

¹ **Video-juegos BCI:** video-juegos controlados por medio de la actividad cerebral captada mediante un dispositivo EEG

breves de entre 1 a 3 min. (Hammond, 2011). También, una de las técnicas para no producir frustraciones consiste en que el terapeuta ayude al niño creando lo que se conoce como *fantasías dirigidas*. Éstas, son viajes imaginativos donde se van creando situaciones para encontrar alguna que se relacione con el patrón de la actividad cerebral que se está intentando alcanzar y así el niño pueda asociar esa idea para autorregular la actividad cerebral. Otra técnica, es dejar que el niño busque lo necesario para obtener una retroalimentación positiva por sí solo, pero en este caso el terapeuta controla los umbrales de los parámetros gradualmente a través del progreso de las sesiones. De esta manera se garantiza una retroalimentación positiva que alentará al niño a continuar con las terapias e irá aprendiendo a autorregular y controlar su actividad cerebral deseada de manera gradual (Holtmann et al., 2011).

En comparación con los resultados obtenidos con los tratamientos farmacológicos, los cuales pierden su efecto una vez que se suspende la ingesta del fármaco, se ha reportado que los resultados de la neuroretroalimentación en niños con TDAH (Lubar, 1995) o niños con autismo (M. E J Kouijzer et al., 2009) pueden llegar a ser persistentes por lo menos de 5 a 10 años. Sin embargo, aún hace falta un estudio de mayor duración para establecer el tiempo de su persistencia (Holtmann et al., 2011). Otra ventaja del uso de la neuroretroalimentación es que se comienzan a ver resultados positivos en pocos meses, incluso dentro de las primeras cinco a diez sesiones de neuroretroalimentación, dependiendo de la severidad del problema que se está abordando, y los usuarios comienzan a notar mejoras iniciales principalmente relacionadas a la flexibilidad y control cognitivo (Hammond, 2011). En contraste con el período de tiempo de un año o más de tratamiento intensivo que se tiene que realizar con las terapias de modificación de comportamiento para comenzar a ver resultados significativos (Coben et al., 2010).

A pesar de las ventajas de la neuroretroalimentación, existen varios desafíos que limitan la capacidad de utilizar métodos de neuroretroalimentación novedosos en todos lados y a cualquier hora (Lofthouse et al., 2012). Primero, la neuroretroalimentación es costosa, ya que generalmente involucra sistemas complejos y de alto costo que utilizan una interfaz cerebro-computadora (BCI) – un sistema de comunicación que monitorea la actividad cerebral y traduce ciertas características en comandos para operar un dispositivo o interfaz visual. En segundo lugar, requiere el apoyo de un especialista con conocimientos clínicos y técnicos para usar el equipo y software necesario, analizar el EEG y conducir la sesión de neuroretroalimentación (Hammond, 2011). Tercero, frecuentemente los usuarios encuentran las visualizaciones de la actividad cerebral muy abstractas y confusas; principalmente los usuarios con algún problema de neurodesarrollo (Mandryk et al., 2013).

En los últimos años la evolución de la tecnología ha permitido el desarrollo de dispositivos BCI² más accesibles, manejables e inalámbricos, como Epoc e Insight de Emotiv, Muse de Interaxion, MindWave de Neurosky, entre otros (Mihajlovic et al., 2015) (ver Figura 2). Estos nuevos dispositivos BCI representan un avance prometedor para reducir la brecha entre costo y accesibilidad (Tan y Nijholt, 2010). Esto puede ayudar a incrementar las aplicaciones del cómputo móvil y ubicuo en el área de las neurociencias, permitiendo a la vez el crecimiento en el desarrollo de software para apoyar este tipo de terapias. Además, en el área de IHC (interacción humano-computadora) se ha comenzado a explorar el uso de video-juegos BCI para proporcionar una retroalimentación de la actividad cerebral más comprensible y que ayude a mantener la atención del niño durante las sesiones de neuroretroalimentación. En la mayoría de estas investigaciones se han realizado estudios donde participan niños neurotípicos o niños con TDAH (Kim et al., 2014; Mandryk et al., 2013); sin embargo, aún falta evidencia científica para respaldar como el uso de video-juegos BCI ayuda a mejorar la eficacia de la neuroretroalimentación en el caso de los niños con autismo.



Figura 2. Dispositivos BCIs comerciales.

² **Dispositivos BCI:** dispositivos con electrodos, un convertidor analógico digital embebido, y un protocolo de comunicación para enviar información del dispositivo a una computadora u otro dispositivo

1.2 Planteamiento del problema

La mayoría de los niños con autismo presentan problemas de atención (Goldstein et al., 2001; Keehn et al., 2013). Estos problemas pueden exacerbar los problemas del sistema cognitivo ya comprometido, generando mayores problemas emocionales y de comportamiento, ya que son habilidades críticas para el aprendizaje y desarrollo de otras funciones (May et al., 2013).

Se ha demostrado que la neuroretroalimentación es una intervención que genera buenos resultados cuando se trabaja con niños con autismo, en especial cuando se manifiestan también algunos síntomas del TDAH, principalmente la atención (Holtmann et al., 2011). Además, los resultados se mantienen inclusive después de que se realizaron las sesiones de neuroretroalimentación (M. E J Kouijzer et al., 2009) y se comienzan a ver resultados positivos en pocos meses, incluso en pocas sesiones, dependiendo de la severidad de las características del autismo (Coben et al., 2010). A pesar de estas ventajas, existen varios desafíos que limitan la capacidad de utilizar métodos de neuroretroalimentación novedosos. Entre los principales desafíos se encuentran los siguientes:

- La neuroretroalimentación generalmente involucra sistemas BCI complejos y de alto costo (Lofthouse et al., 2012).
- Se requiere el apoyo de un especialista con conocimientos clínicos y técnicos para usar el equipo y software necesario, analizar el EEG y conducir la sesión de neuroretroalimentación (Hammond, 2011)
- Frecuentemente los usuarios encuentran las visualizaciones de la actividad cerebral muy abstractas y confusas; principalmente los usuarios con algún problema del neurodesarrollo (Mandryk et al., 2013).

En los últimos años la evolución de la tecnología ha permitido el desarrollo de dispositivos BCI más accesibles, manejables e inalámbricos, que representan un avance prometedor para reducir la brecha entre costo y accesibilidad (Tan y Nijholt, 2010). Esto puede ayudar a incrementar las aplicaciones del cómputo móvil y ubicuo en el área de las neurociencias, permitiendo a la vez el crecimiento en el desarrollo de software para asistir este tipo de terapias. Además, en el área de IHC (interacción humano-computadora) se ha comenzado a explorar el uso de video-juegos BCI (*i.e.*, video-juegos controlados por un dispositivo BCI), para proporcionar una retroalimentación de la actividad cerebral más comprensible y que ayude a mantener la atención del usuario durante las sesiones de neuroretroalimentación; en la mayoría de estas investigaciones se han realizado estudios donde participan niños neurotípicos o niños

con TDAH (Kim et al., 2014; Mandryk et al., 2013). Sin embargo, aún falta evidencia científica para respaldar como el uso de video-juegos BCI ayuda a mejorar la eficacia de la neuroretroalimentación en el caso de los niños con autismo, ya que las necesidades de los niños con autismo son diferentes e incluyen más desafíos relacionados con sus problemas de comportamiento y cognitivos. Estos problemas presentes en los niños con autismo pueden hacer más difícil explorar la fiabilidad y aplicabilidad de un video-juego BCI para utilizarse en sesiones de neuroretroalimentación en este tipo de escenarios en concreto. Primero, los movimientos estereotipados de los niños con autismo pueden incrementar el ruido de la señal leída a través del dispositivo BCI. Segundo, debido a los problemas de hipersensibilidad, muchos de los niños con autismo podrían no tolerar usar electrodos o los dispositivos BCI en sus cabezas. Finalmente, debido a sus problemas de atención, los niños con autismo necesitan una guía constante para redirigir su atención antes de que pierdan interés en las actividades de la sesión de neuroretroalimentación.

Estos desafíos cognitivos, de movimiento, de comportamiento y de atención, de los niños con autismo podrían reducir sus oportunidades de utilizar soluciones comerciales y más accesibles apoyadas por terapias de neuroretroalimentación. Sin embargo, nuestra revisión de la literatura reveló que las investigaciones enfocadas a explorar si es apropiado el uso de video-juegos BCI para apoyar las terapias de neuroretroalimentación de niños con autismo son casi inexistentes. Además, existen preguntas abiertas sobre cuáles son las visualizaciones más apropiadas, que tanta guía o apoyo requieren durante las sesiones, y cuál es el equipo más apropiado para trabajar con la población de niños con autismo.

Por lo que, la implementación de una BCI para proporcionar neuroretroalimentación en apoyo a los problemas de atención de niños con autismo presenta los siguientes retos:

- Existen pocos estudios que muestran que la neuroretroalimentación presenta resultados favorables para la disminución de los problemas de atención en niños con autismo; la mayoría están restringidos a niños con autismo leve. Por lo que se requiere de más trabajos que apoyen los resultados reportados hasta el momento en la literatura y de estudios que involucren a niños con autismo medio y severo.
- Aunque existe evidencia de que el uso de los nuevos dispositivos BCI permiten medir los niveles de atención de los individuos, no existe evidencia científica que sustente que estas interfaces son adecuadas para trabajar con una población de niños con autismo y el impacto que pueda tener en sus problemas de atención.

- No está claro qué técnicas de diseño se deben utilizar para la implementación de un video-juego BCI para el uso de la neuroretroalimentación en apoyo a terapias de atención de niños con autismo.

La hipótesis de este trabajo es que un video-juego BCI diseñado para proporcionar neuroretroalimentación en apoyo a los problemas de atención de niños con autismo, disminuirá de mejor manera los problemas de atención de los niños con autismo en comparación con las terapias de neuroretroalimentación tradicionales.

1.2.1 Preguntas de investigación

Con base en la problemática expuesta anteriormente surgen las siguientes preguntas de investigación:

- [PI1] ¿Qué tipo de interacciones y estrategias para apoyar los problemas de atención de niños con autismo utilizadas durante la neuroretroalimentación tradicional pueden implementarse mediante el uso de un video-juego BCI?
- [PI2] ¿Cuál es la usabilidad y experiencia de uso de un video-juego diseñado para niños con autismo para apoyar las terapias de neuroretroalimentación?
- [PI3] ¿Es eficaz el video-juego BCI diseñado para niños con autismo en mejorar sus problemas de atención?

1.2.2 Objetivos

Para responder las preguntas de investigación se define el objetivo general y los objetivos específicos de la siguiente manera:

1.2.2.1 Objetivo General

Evaluar si un video-juego BCI controlado mediante un dispositivo BCI comercial y diseñado para apoyar las sesiones de neuroretroalimentación de niños con autismo puede mejorar sus problemas de atención.

1.2.2.2 Objetivos específicos

- [OE1] Identificar las estrategias y modelo de instrucción de la neuroretroalimentación que pueden ser implementados en un video-juego BCI.
- [OE2] Establecer las características de diseño que un video-juego BCI debe tener para apoyar sesiones de neuroretroalimentación enfocadas a problemas de atención aplicadas a niños con autismo.
- [OE3] Diseñar e implementar un video-juego BCI para proporcionar neuroretroalimentación en apoyo a los problemas de atención de niños con autismo.
- [OE4] Evaluar la usabilidad y experiencia de uso del video-juego BCI diseñado para apoyar las sesiones de neuroretroalimentación en comparación con sesiones de neuroretroalimentación tradicional.
- [OE5] Evaluar la eficacia del video-juego BCI diseñado en la mejora de los problemas de atención de niños con autismo en comparación con sesiones de neuroretroalimentación tradicional.

1.3 Metodología

La metodología de este trabajo sigue la filosofía de diseño centrado en el usuario. Se compone principalmente de tres etapas iterativas: Entendimiento, (Re)Diseño, y Evaluación (ver Figura 3). Para responder la pregunta [PI1], se realizaron iteraciones entre las etapas de Entendimiento y (Re)Diseño. Posteriormente, se implementó un sistema como instanciación para realizar una evaluación formativa para responder la pregunta [PI2]. Con los resultados de la evaluación formativa, se revisitaron las etapas anteriores para incluir algunos cambios y mejoras en el sistema instanciado. Finalmente, se realizó una evaluación sumativa para responder [PI3]. A continuación, se detallan cada una de las etapas.

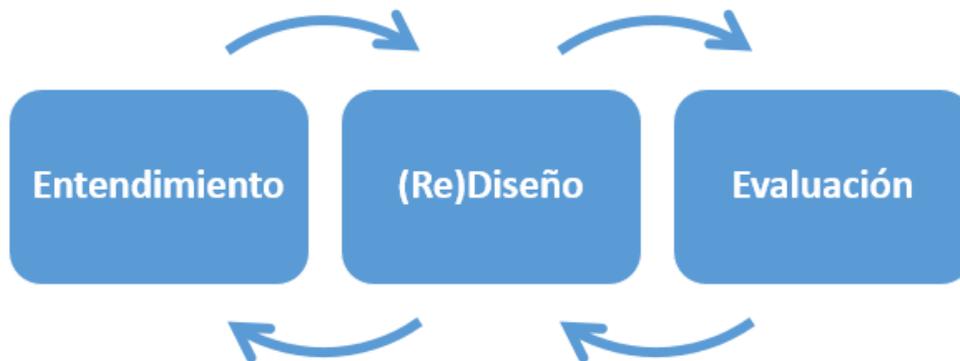


Figura 3. Etapas de la metodología de investigación utilizadas en este trabajo.

1.3.1 Entendimiento

Esta etapa incluye la comprensión inicial y el estudio contextual, se analizó la literatura existente hasta el momento para comprender con mayor detalle las problemáticas y características que están presentes en los niños con autismo, haciendo énfasis en los problemas relacionados a la atención. También, se estudió la literatura relacionada con las BCI y neuroretroalimentación aplicados a niños con autismo.

Para complementar el análisis de la literatura y obtener información de los usuarios potenciales, se realizó un estudio en sitio para entender el proceso de las sesiones de neuroretroalimentación y de terapias de atención para niños con autismo, con el fin de conocer los problemas que se enfrentan y las estrategias que siguen los terapeutas. Para obtener la información se utilizaron métodos cualitativos de captura (*e.g.*, entrevistas semiestructuradas y observación directa) y se realizó un análisis de los datos con técnicas cualitativas (*e.g.*, diagrama de afinidad y teoría fundamentada). En base a los resultados del estudio se identificaron los escenarios para establecer las consideraciones de diseño para la implementación de un video-juego BCI para el uso de la neuroretroalimentación en apoyo a los problemas de atención de niños con autismo.

Los resultados que se obtuvieron de esta etapa son: (1) Un mejor entendimiento del problema; (2) Un mejor entendimiento de las interacciones de los niños con autismo en el uso de las BCI y la neuroretroalimentación; (3) Un conjunto de consideraciones de diseño; (4) Un conjunto de escenarios de sesiones de entrenamiento de neuroretroalimentación.

1.3.2 (Re)Diseño

Se utilizaron los escenarios y oportunidades de diseño identificadas en la etapa de Entendimiento para definir un conjunto de prototipos de baja y media fidelidad. Los prototipos se generaron utilizando técnicas de diseño formativo y centrado en el usuario (*e.g.*, sesiones de diseño multidisciplinarias, sesiones de diseño participativas, diseño contextual rápido, sketches). Posteriormente, se utilizó el diseño resultante para implementar un prototipo de alta fidelidad de un video-juego BCI para proporcionar neuroretroalimentación en apoyo a los problemas de atención de niños con autismo.

Los resultados de esta etapa son: (1) Un conjunto de escenarios que utilicen la tecnología de las BCI; (2) Diseño de baja fidelidad de un video-juego BCI para proporcionar neuroretroalimentación en apoyo a los problemas de atención de niños con autismo; (3) Un video-juego BCI para proporcionar neuroretroalimentación en apoyo a los problemas de atención de niños con autismo.

1.3.3 Evaluación

Primero, se realizó una evaluación formativa para evaluar la usabilidad y experiencia de uso de FarmerKeeper (*i.e.*, el video-juego BCI implementado para proporcionar neuroretroalimentación en apoyo a los problemas de atención de niños con autismo). La evaluación formativa se realizó en un centro psicopedagógico para niños con autismo. Se reclutaron 12 niños con autismo y 8 maestros/psicólogos. Se realizó un estudio intra-sujetos comparando el uso de FarmerKeeper con el uso de BrainCats (un videojuego BCI utilizado en clínicas especializadas de neuroretroalimentación). En esta evaluación se encontró que: (1) FarmerKeeper es divertido, fácil de usar y atractivo; (2) FarmerKeeper presenta una experiencia de juego positiva y agradable; (3) FarmerKeeper tiene potenciales beneficios en términos de atención de niños con autismo.

Posteriormente, con los resultados de la evaluación formativa, se revisitaron las etapas anteriores para incluir algunos cambios y mejoras en el sistema instanciado. Y finalmente, se realizó una evaluación sumativa para evaluar la eficacia en la disminución de los problemas de atención de los niños con autismo al utilizar el prototipo final del video-juego BCI durante las sesiones de neuroretroalimentación. La evaluación sumativa se realizó en un centro psicopedagógico para niños con autismo. Se realizó un estudio entre-sujetos, donde participaron 26 niños con autismo y 10 maestros/psicólogos. Los 26 niños con

autismo se asignaron de manera aleatoria a dos grupos para tomar 13 sesiones de neuroretroalimentación utilizando FarmerKeeper o Caricaturas. El estudio tuvo mediciones pre-condición y post-condición con pruebas psicométricas de atención. Los resultados de este estudio muestran que: (1) FarmerKeeper puede ayudar a mejorar la atención, el control de la atención y la atención sostenida de los niños con autismo, de la misma o mejor manera que las Caricaturas durante las sesiones de neuroretroalimentación; (2) FarmerKeeper podría impactar de una mejor manera en comparación al uso de Caricaturas durante las sesiones de neuroretroalimentación.

1.4 Estructura de la tesis

Esta tesis contiene seis capítulos, los cuales se describen a continuación:

En el Capítulo 2 primero se presentan las investigaciones relacionadas a demostrar cómo el entrenamiento de neuroretroalimentación tiene un impacto positivo en las funciones cognitivas de individuos neurotípicos e individuos con algún trastorno del neurodesarrollo. Después, se describe cómo se ha comenzado a utilizar aplicaciones lúdicas para el entrenamiento de neuroretroalimentación tradicional y sus consecuencias. Finalmente, se describen las investigaciones que utilizan video-juegos BCI para apoyar las terapias de neuroretroalimentación, especialmente aquellas que utilizan dispositivos BCI comerciales.

En el Capítulo 3 primero se describe el diseño contextual de FarmerKeeper, un video-juego BCI diseñado para apoyar sesiones de neuroretroalimentación de niños con autismo, controlado mediante un dispositivo BCI comercial. Y finalmente, se presenta el proceso de desarrollo e implementación de FarmerKeeper.

En el Capítulo 4 se presenta la evaluación formativa de FarmerKeeper, mediante la cual se evaluó la usabilidad y experiencia de uso de FarmerKeeper, comparando los resultados con un video-juego BCI comercial usado comúnmente en sesiones de neuroretroalimentación para niños con autismo.

En el Capítulo 5 se presenta la evaluación sumativa de FarmerKeeper, la cual compara la eficacia de FarmerKeeper con el uso de Caricaturas al utilizarlos como apoyo en sesiones de neuroretroalimentación para niños con autismo en la disminución de sus problemas de atención.

Finalmente, en el Capítulo 6 se detallan las principales conclusiones, aportaciones y limitaciones de esta Tesis. Y se incluyen algunas ideas de trabajo futuro.

Capítulo 2. Trabajo relacionado

En este capítulo, primero se describen las investigaciones que demuestran cómo el entrenamiento de neuroretroalimentación tiene un impacto positivo en las funciones cognitivas de individuos neurotípicos e individuos con algún trastorno del neurodesarrollo. Después, se describe cómo en la literatura algunas investigaciones comenzaron a estudiar el utilizar aplicaciones lúdicas para el entrenamiento de neuroretroalimentación tradicional enfocado principalmente a niños, y sus consecuencias. Finalmente, se describen las investigaciones que utilizan video-juegos BCI para apoyar las terapias de neuroretroalimentación, especialmente aquellas que utilizan dispositivos BCI comerciales.

2.1 Neuroretroalimentación tradicional

En 1976, Lubar et al. (Lubar y Bahler, 1976) realizaron un estudio para medir la efectividad del uso de la neuroretroalimentación en humanos. En este estudio participaron 8 pacientes con epilepsia severa, de entre 10 a 29 años de edad, quienes durante 1 mes asistieron a sesiones de neuroretroalimentación para reacondicionar su actividad cerebral relacionada a los ataques de epilepsia (*i.e.*, las ondas cerebrales SMR o ritmo sensoriomotor). Los resultados demostraron efectividad en la reducción de las convulsiones epilépticas de los participantes, demostrando por primera vez que era posible reacondicionar y reentrenar la actividad cerebral del ser humano mediante la neuroretroalimentación.

Basándose en dichos descubrimientos, otras investigaciones comenzaron a explorar el uso de la neuroretroalimentación para mejorar las funciones cognitivas de individuos neurotípicos (Keizer et al., 2010; Vernon et al., 2003; Zoefel et al., 2011) e individuos con algún trastorno del neurodesarrollo (*e.g.* Desorden de Déficit de Atención, TDAH, discapacidades de aprendizaje, derrame cerebral, epilepsia, disfunción cognitiva, depresión, ansiedad, entre otros) (Hammond, 2011; Mirjam E J Kouijzer et al., 2010; Pineda et al., 2008).

Dentro de las investigaciones enfocadas a mejorar las funciones cognitivas de individuos neurotípicos, en Vernon, et.al. (Vernon et al., 2003) se realizó un estudio con treinta estudiantes de la carrera universitaria de medicina (20-28 años de edad) utilizando diferentes protocolos de entrenamiento de neuroretroalimentación para evaluar el efecto relacionado a aspectos del rendimiento cognitivo de los estudiantes. Los participantes completaron ocho sesiones de neuroretroalimentación en un periodo de 4-

semanas. Durante las sesiones de neuroretroalimentación, la actividad que realizaron los participantes fue la de incrementar el tamaño de una barra (que representaba un patrón de actividad cerebral) y simultáneamente disminuir el tamaño de otras barras (que representaban un patrón de actividad cerebral que se deseaba inhibir). Cuando el tamaño de cualquiera de las dos barras alcanzaba el objetivo, se escuchaba un tono y aparecía un símbolo para indicar un incremento en el puntaje. El objetivo para el participante era obtener un puntaje lo más alto posible (Figura 4). Los resultados de este estudio muestran una mejora positiva en el rendimiento cognitivo de los participantes. Por otro lado, dentro de las investigaciones enfocadas a mejorar las funciones cognitivas de individuos con algún trastorno del neurodesarrollo, en Kouijzer et al. (Mirjam E J Kouijzer et al., 2010) se presenta un estudio donde se evalúan los efectos de la neuroretroalimentación tradicional para ayudar a disminuir los síntomas de los niños con autismo. Para hacer esto, los niños con autismo realizaron sesiones de neuroretroalimentación tradicional, donde la amplitud de un patrón de actividad cerebral particular se utilizaba para controlar el tamaño de una barra. Mientras observaban la amplitud de su actividad cerebral, a los niños se les solicitó el “reducir (o subir) su actividad cerebral utilizando la retroalimentación para guiarse”. Junto con la barra se mostraba una línea que representaba el criterio, o umbral, a alcanzar durante la sesión de neuroretroalimentación (Figura 4). Según la edad e intereses del participante, se daban recompensas visuales y auditivas cuando el participante alcanzaba la línea del umbral. Los resultados de este estudio presentan mejoras significativas en la interacción social, habilidades de comunicación, atención, y control de cambios entre actividades, en 60% de los participantes.

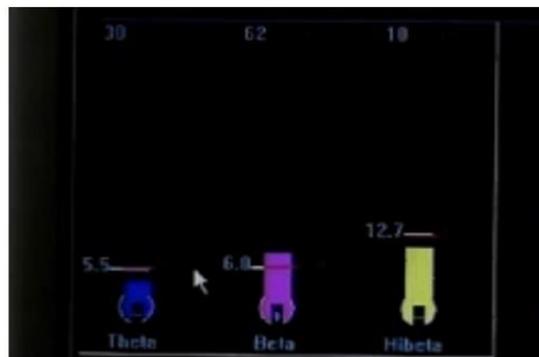


Figura 4. Ejemplo de visualización en sesiones de neuroretroalimentación tradicional. Barras de actividad cerebral y líneas de umbral. Por ejemplo, en la imagen se le pide al usuario que mantenga por debajo de la línea del umbral la primera barra y las otras dos por arriba del umbral.

Estos trabajos demuestran cómo la neuroretroalimentación ayuda a mejorar las funciones cognitivas de individuos neurotípicos (Vernon et al., 2003) e individuos con algún trastorno del neurodesarrollo (Mirjam E J Kouijzer et al., 2010). Sin embargo, la neuroretroalimentación resulta costosa, ya que comúnmente

involucra sistemas BCI caros y complejos, que pueden resultar difícil de colocar o aceptar usar por algunos usuarios, especialmente por usuarios con algún trastorno del neurodesarrollo que sean hipersesibles o no toleren usar cosas en la cabeza. Adicionalmente, se requiere que la persona que conduce la neuroretroalimentación tenga ciertos conocimientos técnicos y capacitación (Hammond, 2011).

2.2 Aplicaciones lúdicas para la neuroretroalimentación tradicional

Debido a los aspectos repetitivos de la neuroretroalimentación tradicional (*e.g.*, solo tener que mantener un cierto tamaño de las barras por una cierta cantidad de tiempo), y que las visualizaciones utilizadas en la neuroretroalimentación tradicional pueden resultar abstractas para un gran número de usuarios (en especial para los niños), las investigaciones comenzaron a incorporar aplicaciones lúdicas (*i.e.*, mini juegos). Esto último con el fin de proporcionar más diversión y enganche que los enfoques tradicionales de la neuroretroalimentación. Por ejemplo, en lugar de controlar el tamaño de barras o esperar una señal auditiva, los niños tienen que completar actividades como hacer que un buzo se sumerja para alcanzar un tesoro (Cmiel et al., 2011), hacer sonreír un cara (Bakhshayesh et al., 2011), hacer que un chango trepe a un árbol por comida (Bakhshayesh et al., 2011), controlar una pelota para que suba a una pirámide y se mantenga balanceada (Bakhshayesh et al., 2011), o hacer que un delfín bucee para recolectar monedas (Steiner et al., 2014) (Figura 5). La característica principal de estas aplicaciones lúdicas, o mini juegos, utilizadas durante la neuroretroalimentación, consiste en que el jugador debe descubrir cómo auto-regular su actividad cerebral y mantenerla en un estado cognitivo en particular (*e.g.*, atención, relajación, etc.) y lograr el objetivo del mini-juego, es decir, el control del mini juego es por medio de la actividad cerebral. Por ejemplo, el buzo nada sumergiéndose para alcanzar el tesoro en el fondo del mar cuando el jugador logra una cierta actividad cerebral, o según qué tan cercana o alejada sea la actividad cerebral a una condición o estado cognitivo deseado, una cara se pondrá más feliz o triste respectivamente.



Figura 5. Captura de pantalla de diferentes aplicaciones lúdicas para neuroretroalimentación: a) juego del buzo (Cmiel et al., 2011), b) cara sonriente (Bakhshayesh et al., 2011), c) juego del chango (Bakhshayesh et al., 2011), y d) juego de la pelota (Bakhshayesh et al., 2011).

Una vez que se comprobó que el uso de estas aplicaciones lúdicas despertaban más interés para los niños que los enfoques tradicionales de la neuroretroalimentación se comenzó a explorar el introducir juegos más llamativos e interesantes, combinando la neuroretroalimentación con video-juegos BCI (Wilkinson et al., 2008). Además, con el uso de esos mini juegos se buscaba que los niños pudieran permanecer más tiempo sin moverse, al estar más atentos y motivados en la actividad de la sesión de neuroretroalimentación; ya que anteriormente al uso de los mini juegos los niños perdían muy fácilmente la atención y su motivación, lo que se veía reflejado en que se comenzaban a poner más inquietos y realizar movimientos que generaban ruido en la lectura de los electrodos. Por ejemplo, Pope y Palsson (Pope y Palsson, 2001) utilizaron un sistema de neuroretroalimentación desarrollado por la NASA para modular la respuesta del control de juego utilizado en video-juegos de Sony Playstation™ (*i.e.*, un patrón de actividad cerebral correcto era premiado con un mejor funcionamiento del control del juego). Para evaluar su propuesta, realizaron un estudio con 22 niños con TDAH, de entre 9 y 13 años de edad. Los niños fueron divididos en dos grupos, el primer grupo realizó sesiones de neuroretroalimentación con las visualizaciones tradicionales, y el segundo grupo realizó las sesiones de neuroretroalimentación utilizando los video-juegos de Sony Playstation™ con el sistema de neuroretroalimentación de su propuesta. En este estudio, el segundo grupo mostró una mejora de los síntomas del TDAH del 65% mientras que el primer grupo mejoró en un 48%. Como uno de sus resultados, este trabajo muestra que los video-juegos BCI influyen positivamente en la motivación de los niños por participar en las sesiones de neuroretroalimentación.

Aunque este tipo de aplicaciones lúdicas aborda visualizaciones más divertidas y enganchantes que las utilizadas en la neuroretroalimentación tradicional, aún existen preguntas abiertas sobre los aspectos de diseño y las guías para promover la auto-regulación de la actividad cerebral durante las sesiones de neuroretroalimentación; principalmente aquellos aspectos de diseños y guías para niños con algún trastorno del neurodesarrollo, como lo es el autismo.

2.3 Video-juegos BCI para las sesiones de neuroretroalimentación

Recientemente en el área de Interacción Humano-Computadora se ha explorado el uso de video-juegos BCI para dar mejores guías que promuevan la auto-regulación de los patrones de la actividad cerebral, tanto para personas neurotípicas como para personas con alguna discapacidad del neurodesarrollo. Estos esfuerzos se enfocan en encontrar retroalimentaciones que sean más fáciles de entender y comprensibles

por el usuario (Mandryk et al., 2013, 2012) y en apoyar al usuario para mantener su atención durante las sesiones de neuroretroalimentación (Lim et al., 2012; Pope y Palsson, 2001; Wang et al., 2010).

Algunas investigaciones proponen modificar video-juegos comerciales ya existentes para convertirlos en video-juegos BCI para apoyar las sesiones de neuroretroalimentación. Por ejemplo, en Mandryk et al. (Mandryk et al., 2012) se muestra el desarrollo de un complemento de software que permite convertir un video-juego comercial a un video-juego BCI. Su enfoque es utilizar retroalimentación visual mediante gráficos basados en texturas que se superponen al video-juego original, interfiriendo gradualmente la visibilidad del juego. Estos gráficos comienzan a ocluir el video-juego con mayor intensidad según lo alejado que este el nivel de atención del usuario de un umbral predefinido por el terapeuta (Figura 6). Este complemento utiliza el dispositivo BCI MindWave de NeuroSky. Posteriormente una evaluación de la eficiencia de utilizar el complemento en sesiones de neuroretroalimentación, donde participaron 16 niños con trastorno del espectro alcohólico fetal (TEAF), muestra que el complemento puede ayudar a reducir los síntomas del TDAH de los participantes (Mandryk et al., 2013). Sin embargo, el uso de gráficos basados en texturas que se superponen en la pantalla podría llegar a ser una representación abstracta de la actividad cerebral o representar una sobrecarga de estímulos para los niños con otros desordenes del neurodesarrollo como el autismo.

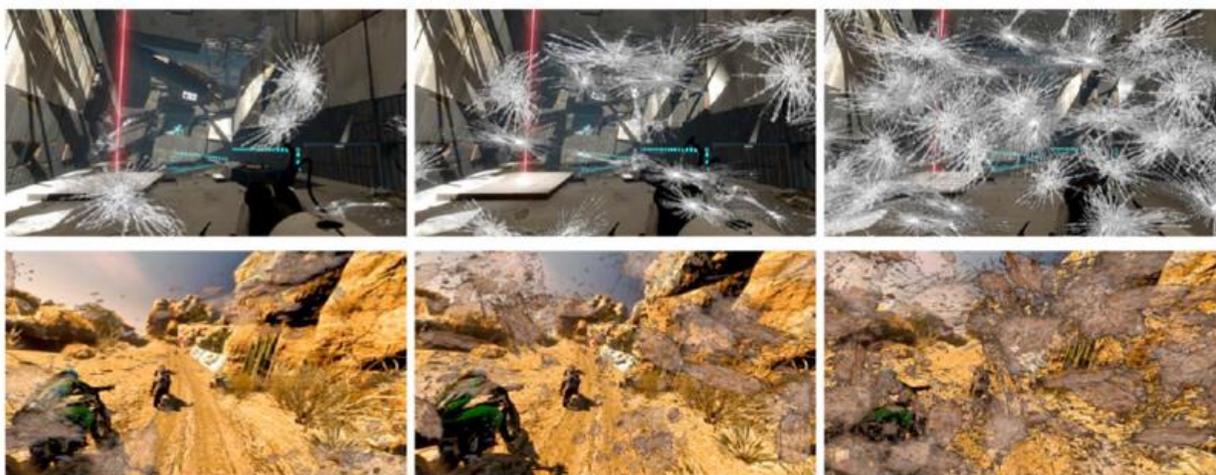


Figura 6. Las columnas muestran 3 niveles de texturas basadas en neuroretroalimentación. Cada fila corresponde a los efectos personalizados para dos diferentes tipos de juegos (Mandryk et al., 2012).

Otras investigaciones se han enfocado en desarrollar video-juegos BCI desde cero y evaluar su impacto al utilizarlos en sesiones de neuroretroalimentación. Por ejemplo, en Wang et al. (Wang et al., 2010) se proponen aspectos de diseño y de desarrollo para crear video-juegos BCI para aplicaciones médicas. En su trabajo, como ejemplo desarrollan 2 video-juegos BCI: *Dancing Robot* y *Brain Chi* (Wang et al., 2010)

(Figura 7). Ambos video-juegos BCI utilizan el dispositivo BCI comercial Epoc de Emotiv para leer la actividad cerebral y calcular la atención del usuario para controlar el video-juego. Sin embargo, en su trabajo solo prueban la viabilidad de utilizar dispositivos BCI comerciales para controlar el video-juego BCI y se comparan algunos métodos de extracción de características para calcular la atención del usuario.

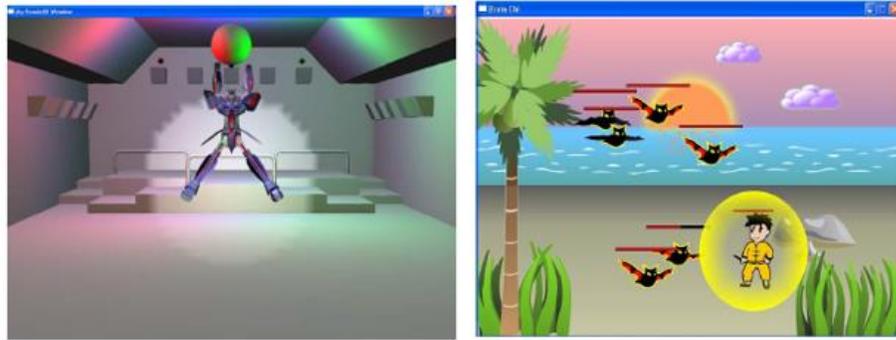


Figura 7. Dancing Robot y Brain Chi (Wang et al., 2010).

En Schoneveld et al. (Schoneveld et al., 2016) se evalúa el efecto de *MindLight* (un video-juego BCI desarrollado por el equipo de investigadores del laboratorio de los autores en el instituto Playnice) para reducir la ansiedad de los niños. Durante la evaluación de *MindLight* los niños utilizan el dispositivo BCI comercial Mindset de Neurosky para controlar una luz que sale de la cabeza del personaje del juego. Mientras más relajado esté el jugador, la luz será más brillante; la luz es la única forma en que los jugadores pueden ver por donde caminan dentro de una casa embrujada (Figura 9). Cuando el jugador comienza a ponerse ansioso, la luz disminuye, lo que forza al jugador a intentar permanecer calmado para poder seguir iluminando la casa; así mediante estos mecanismos de reforzamiento, el niño aprende a identificar y cambiar su estado mental. En este estudio, participaron 136 niños en edad escolar primaria (con 8-13 años de edad), que fueron asignados aleatoriamente a un grupo donde los participantes jugaban *MindLight* y a otro grupo donde los participantes jugaban el video-juego *Max and the Magic Maker*³ mediante un control de juego. Se eligió este video-juego como control por su similitud con *MindLight*, al involucrar que el personaje principal debe enfrentar sus miedos para acabar con los monstruos a través de varios niveles del video-juego. Los participantes asistieron a 5 sesiones de 1 hora cada una, calendarizadas dos veces por semana. Los resultados muestran una reducción general significativa de la ansiedad de los niños para ambos grupos.

³ *Max and the Magic Maker*: un video-juego de plataforma que involucra acertijos como desafíos en cada nivel (<http://maxandthemagicmarker.com/>).



Figura 9. Capturas de pantalla de MindLigth. Captura de pantalla de la luz brillando cuando el jugador esta calmado (izquierda) y Captura de pantalla descubriendo un momento de miedo (derecha). (Schoneveld et al., 2016)

En Lim, C.G. et al.(Choon Guan Lim et al., 2010), se describe un estudio piloto de 10-semanas para evaluar si un video-juego BCI de carreras de carros puede ayudar a mejorar los síntomas de inatención del TDAH (Figura 8, izquierda). Los padres y maestros de los participantes evaluaron mediante pruebas psicométricas la severidad del síntoma de inatención de los participantes antes y después de la intervención, mostrando mayor mejora en el grupo que utilizó el video-juego BCI. Después, Lim, C.G. et al. desarrollaron *CogoLand* (Lim et al., 2012), un video-juego BCI más completo que requiere que los niños estén concentrados para mover el personaje y correr alrededor de una isla en el menor tiempo posible (Figura 8, derecha). *CogoLand* monitorea la atención del jugador mediante el dispositivo BCI comercial MindWave de Neurosky. Los resultados de la evaluación reportan mejoras significativas en los puntajes de la escala del TDAH correspondientes a los síntomas de inatención e hiperactividad-impulsividad. Sin embargo, aún hay preguntas abiertas referentes al estudio de las consideraciones de diseño, como entender cuáles son los estímulos visuales/auditivos más apropiados y cómo mantener el interés de los niños con autismo en el transcurso de varias sesiones de neuroretroalimentación.



Figura 8. Fotografías de dos intervenciones de neuroretroalimentación. Video-juego BCI de carreras de carros (Choon Guan Lim et al., 2010) (izquierda) y video-juego BCI CogoLand (Lim et al., 2012) (derecha).

Aunque los trabajos presentados en este capítulo muestran que la neuroretroalimentación tiene un impacto positivo para el entrenamiento cerebral, y que los videojuegos BCI ayudan a mantener a los niños atentos durante las sesiones de neuroretroalimentación y les brindan una orientación más adecuada para ayudarlos a auto-regular sus patrones de la actividad cerebral; hasta donde sabemos, ningún proyecto de investigación ha estudiado las necesidades y requerimientos de diseño de los videojuegos BCI para apoyar la neuroretroalimentación de niños con autismo, o si los videojuegos actuales son efectivos para esta población.

Capítulo 3. Diseño e implementación

En este capítulo primero se describe el diseño contextual de FarmerKeeper, un video-juego BCI diseñado para apoyar sesiones de neuroretroalimentación de niños con autismo, controlado mediante un dispositivo BCI comercial. Durante el diseño contextual se siguió una metodología centrada en el usuario (Holtzblatt et al., 2004), se realizaron entrevistas, observaciones, y sesiones de diseño (

Tabla 1). Después, se presentan tres implicaciones y ocho aspectos de diseño que se encontraron como relevantes para diseñar video-juegos BCI para niños con autismo. Finalmente se presenta el desarrollo y la implementación de FarmerKeeper. FarmerKeeper se desarrolló tomando en cuenta las implicaciones de diseño que encontramos y las fases típicas de una sesión de neuroretroalimentación.

3.1 Diseño contextual

El diseño contextual involucró un estudio cualitativo que incluyó entrevistas y observaciones, éstas se realizaron para entender y conocer las necesidades de los usuarios potenciales. Se complementó el aprendizaje del estudio cualitativo y la literatura con sesiones de diseño para proponer diferentes prototipos de video-juegos BCI y con sesiones de co-diseño para detallar el prototipo elegido del video-juego BCI (Tabla 1). Todas las entrevistas fueron audio-grabadas y transcritas. Y durante las observaciones se tomaron notas de todo lo ocurrido durante las sesiones.

Se utilizaron técnicas cualitativas, incluyendo codificación abierta y axial (Strauss y Corbin, 1998) para encontrar temas emergentes de los datos recabados (incluyendo las entrevistas y observaciones). Posteriormente, se agruparon los códigos de los temas emergentes en un diagrama de afinidad (Beyer y Holtzblatt, 1999). Tres expertos en IHC realizaron el análisis cualitativo, comparando y discutiendo los temas emergentes. Para analizar estos datos se utilizó *atlas.ti*⁴ (Friese, 2014). Todos los datos que se obtuvieron de las sesiones de diseño y co-diseño se materializaron en bocetos, guiones gráficos (*storyboards*), y nuevas ideas de potenciales características para incorporar en el video-juego BCI (*e.g.*, actividades, estímulos, etc.). Los datos que se obtuvieron durante las sesiones de diseño se analizaron utilizando técnicas de diseño contextual rápido (Holtzblatt et al., 2004).

⁴ <http://atlasti.com>, un software para apoyar investigación cualitativa.

Tabla 1. Colección de datos y actividades realizadas para diseñar FarmerKeeper.

#	Actividad	Objetivo	Participantes
1	Curso de Introducción al Neurofeedback	Entender cómo funcionan las sesiones de neuroretroalimentación en la práctica. Se tomó un curso introductorio de certificación de 36 hrs. teóricas y 6 hrs. prácticas con pacientes.	1 Experto en IHC 1 Experto en neuroretroalimentación
4	Entrevistas semi-estructuradas ($t=170min$, $m=42.5min$, $\sigma=12.58min$)	Se realizaron entrevistas con diferentes especialistas involucrados en el proceso de diseño para entender los retos actuales y estrategias utilizadas para terapias de atención de niños con autismo.	1 Experto en neuroretroalimentación 1 Psicólogo infantil 1 Experto en juegos serios 1 Diseñador gráfico
3	Sesiones de Observación Pasivas ($t=180min$, $m=30min$ $\sigma=0min$)	Se observaron sesiones de neuroretroalimentación para entender los retos actuales y las estrategias utilizadas. Se utilizó el método de “ <i>Think-Aloud</i> ” en una de las sesiones observadas para entender mejor el proceso.	1 Experto en neuroretroalimentación 2 Pacientes 1 Psicólogo infantil 2 Expertos en IHC
5	Sesiones de Diseño Participativas ($t=11hrs$, $m=2hrs 12min$, $\sigma=1hr 6min$)	Se realizaron sesiones de diseño con un equipo interdisciplinario de especialistas en autismo, diseño, neuroretroalimentación e IHC, para proponer 4 prototipos de baja fidelidad de video-juegos BCI	4 Expertos en IHC 1 Psicólogo infantil 1 Diseñador gráfico 1 Terapeuta en neuroretroalimentación
2	Sesiones de Co-Diseño ($t=2hrs 29min$, $m=1hr 14min$, $\sigma=11min 10sec$)	Se realizaron sesiones de co-diseño involucrando a especialistas y usuarios potenciales para seleccionar un prototipo de los prototipos propuestos en las sesiones de diseño y detallarlo	2 Expertos en IHC 16 maestros (psicólogos infantiles) durante la 1ra sesión 5 maestros (psicólogos infantiles) durante la 2da sesión

Durante las sesiones de diseño, tomando en consideración el entendimiento en común del proceso y de las estrategias utilizadas durante las sesiones de neuroretroalimentación, los especialistas del equipo de diseño propusieron cuatro prototipos de baja fidelidad como posibles alternativas para el diseño del video-juego BCI. De estos cuatro prototipos de baja fidelidad, el equipo de diseño seleccionó el prototipo de un video-juego BCI basado en un juego tipo *corredor* controlado por medio de la atención del jugador leída mediante un dispositivo BCI comercial. Este prototipo, que fue nombrado FarmerKeeper, tiene como temática principal la granja. El objetivo del video-juego BCI, FarmerKeeper, es ayudar al personaje a recoger animales dispersos a través del camino y devolverlos a sus corrales. El equipo de diseño seleccionó la temática de la granja basándose en sus experiencias trabajando con niños con autismo – sin embargo, estuvieron de acuerdo que en futuras versiones la temática del video-juego BCI podría ser personalizada con base en las necesidades e intereses de cada niño.

Para discutir posibles mejoras de diseño y evaluar el diseño del prototipo propuesto, se realizaron dos sesiones de co-diseño involucrando a los usuarios potenciales del video-juego BCI. En estas sesiones de co-diseño participaron varios maestros/psicólogos de Pasitos⁵. Durante esas sesiones los maestros de

⁵ **Pasitos:** un centro psicopedagógico localizado en Tijuana, México, donde 18 maestros/psicólogos infantiles atienden a cerca de 60 niños con autismo de nivel medio y severo

Pasitos, en colaboración con otros especialistas, tuvieron la oportunidad de co-diseñar diferentes fases del video-juego BCI, así como las ayudas y recompensas que debería incluir el video-juego BCI. Después de varias mejoras del prototipo, los maestros contestaron el cuestionario “Escala de Usabilidad del Sistema” (SUS, por sus siglas en inglés *System Usability Scale*) (Brooke, 2013). para conocer su percepción acerca de la usabilidad de la última versión del diseño del prototipo. Como resultado del cuestionario SUS (un puntaje promedio de 78.13 en la escala de 0-100), y de acuerdo con los rangos de aceptabilidad y adjetivos de calificación del SUS, los maestros percibieron el diseño de FarmerKeeper como bueno y aceptable.

3.2 Neuroretroalimentación en el autismo – una sesión típica

Como resultado del estudio cualitativo, se enlistaron las fases de una sesión de neuroretroalimentación (Figura 10). Estas fases se utilizaron como base para diseñar las diferentes secciones del video-juego BCI y se discutieron en todas las sesiones de diseño. En una sesión de neuroretroalimentación tradicional, el terapeuta define un umbral de atención basado en las habilidades y necesidades del participante, también define el número de bloques, es decir, cuantas fases de *actividad* seguidas por una fase de *descanso* se realizarán, y su duración. El terapeuta normalmente utiliza una aplicación computacional para configurar esta información. Esta aplicación se proporciona e incluye con el equipo clínico que se compra para realizar las sesiones de neuroretroalimentación. El participante debe usar una gorra/casco de electrodos, o un dispositivo BCI que permita leer su actividad cerebral.

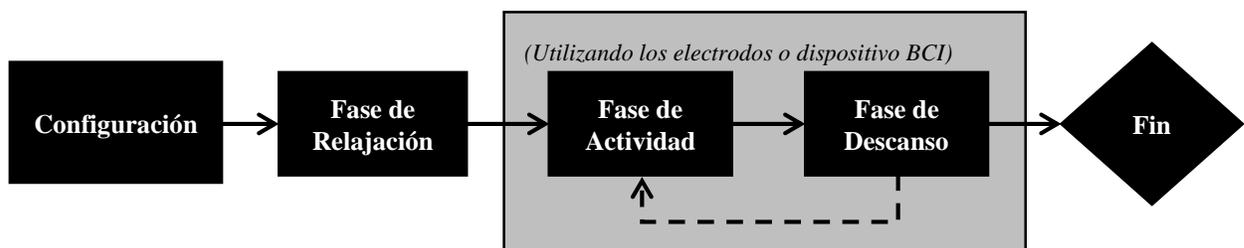


Figura 10. Diagrama de las fases de una sesión de neuroretroalimentación

Primero, el terapeuta debe configurar la sesión del participante, especificando el umbral y colocando los electrodos en la cabeza del participante. Después de una calibración, el terapeuta normalmente pone música para ayudar al participante a estar relajado y poder pasar a las siguientes fases de la sesión de neuroretroalimentación. Luego, el participante debe completar varios bloques compuestos de fases de actividad con fases de descanso intermedias. Durante las fases de actividad, el participante debe mantener su actividad cerebral lo más cerca posible al umbral predefinido, ajustando los estímulos visuales y

auditivos de la aplicación de visualización del equipo de neuroretroalimentación. Estas visualizaciones normalmente son en forma de gráficas, caricaturas o video-juegos. Durante las fases de descanso, el terapeuta puede quitar los electrodos, o el dispositivo BCI, si el participante está ansioso por utilizarlos en su cabeza, y así reducir la ansiedad del paciente.

Para ejemplificar como se realiza una sesión de neuroretroalimentación con niños con autismo, así como los problemas que se presentan y las estrategias utilizadas, se presenta el siguiente escenario como ejemplo:

Mate es un niño con autismo severo de 6 años de edad, con problemas de atención y que está realizando sesiones de neuroretroalimentación –dos veces a la semana por dos meses. Patty, la terapeuta en neuroretroalimentación, configura la aplicación para realizar la sesión de neuroretroalimentación con tres fases de actividad de 3 minutos cada una, con 1 minuto de descanso entre cada fase de actividad. También, Patty selecciona un umbral de 40 unidades de atención; ya que es el umbral más bajo del rango de atención normal (40-60) de una escala de atención de 0 a 100 en la aplicación (Figura 10 - Configuración). Después, Patty le dice a Mate que colocará los electrodos en su cabeza, pero Mate está un poco ansioso y se mueve mucho. Patty le pide a Mate que se tranquilice un poco. Patty pone un video de un paisaje con música relajante en la pantalla de la computadora. Mate ve el video y se tranquiliza. Mientras Mate está viendo el video Patty coloca los electrodos en la cabeza de Mate (Figura 10 – Fase de Relajación). Posteriormente comienza la primera fase de Actividad (Figura 10 – Fase de Actividad).

En la Fase de Actividad, Mate está sentado viendo la pantalla en donde por medio de la actividad cerebral Mate controla algún elemento de la visualización. Por ejemplo, en este caso Mate controla el tamaño de una barra, la hace crecer dependiendo su actividad cerebral. Mate debe hacer crecer la barra hasta alcanzar una línea –la línea representa el umbral y la altura de la barra cambia basandose en la atención del niño leída mediante los electrodos (más atención da como resultado una barra más alta). También, una música instrumental se escucha de fondo –el volumen de la música también es controlado por la atención del niño. Durante el primer minuto, la atención de Mate está casi siempre por encima del umbral, por lo que la barra casi siempre está por encima de la línea y al mismo tiempo Mate puede escuchar la música instrumental. Cuando la atención de Mate disminuye, la barra disminuye su tamaño por debajo de la línea y la música instrumental no se puede escuchar. Mate comienza a ponerse ansioso, y comienza a agitar los brazos y mecer su cuerpo, a la vez de que comienza a tocar los electrodos; como si quisiera quitarlos. Patty pone un descanso, ya que hay mucho ruido en la señal capturada por los electrodos y se hace imposible leer la atención de Mate (Figura 10 – Fase de Descanso). Cuando Mate se tranquiliza, Patty comienza una

nueva Fase de Actividad. Pero Mate no puede completarla ya que de nuevo se pone muy ansioso y no puede controlar su atención. Al intentar calmarlo y ver que nada funciona, Patty decide dar por terminada la sesión de ese día. Patty retira los electrodos y felicita a Mate por su trabajo del día. Patty invita a Mate a volver otro día para una nueva sesión (Figura 10 – Fin).

Este escenario muestra cómo los niños pierden la motivación y el interés durante las sesiones de neuroretroalimentación. También, resalta la demandante carga de trabajo por parte del terapeuta para redirigir la atención del paciente, así como el trabajo para monitorear que la lectura de la actividad cerebral no esté ruidosa, y calmar al paciente si este se pone muy ansioso y si se comienza a producir mucho ruido en la lectura debido a los movimientos del paciente.

3.3 Implicaciones de diseño para el desarrollo de un video-juego BCI para apoyar sesiones de neuroretroalimentación de niños con autismo

Basándonos en la revisión de la literatura y el diseño contextual se encontraron tres implicaciones de diseño principales que se deben tomar en cuenta para el desarrollo de un video-juego BCI para apoyar sesiones de neuroretroalimentación de niños con autismo. Cada implicación de diseño está compuesta por varios aspectos de diseño, teniendo como resultado ocho aspectos de diseño. Estas implicaciones y sus aspectos de diseño se presentan a continuación:

3.3.1 Promover el enganche

Durante las sesiones de neuroretroalimentación, los niños deben descubrir como auto-regular su actividad cerebral y mantenerla en un estado cognitivo en particular (*e.g.*, atención, relajación, etc.) (Tan y Nijholt, 2010). La auto-regulación es un proceso difícil y repetitivo; como consecuencia, los niños pierden la motivación e interés fácilmente. Encontramos que utilizar una historia, utilizar recompensas basadas en logros, y el establecer un vínculo emocional con el personaje del video-juego, puede contribuir al enganche de los niños durante las sesiones de neuroretroalimentación –esto es consistente con lo reportado en la literatura de video-juegos en relación a la creación de un argumento de juego, y el uso de objetivos y recompensas (Whyte et al., 2015).

Mantener la historia simple. Los resultados nos muestran que un video-juego para niños con autismo debe tener una historia simple y comprensible, con un objetivo definido y claro. Un psicólogo explicaba:

“...La historia del video-juego debe ser algo fácil de entender, si es algo simple y comprensible, el niño podrá permanecer enfocado de mejor manera ...” [maestro (psicólogo infantil) 3]

Durante el proceso de diseño, los especialistas (ver Tabla 1) discutieron diferentes historias relacionadas a superhéroes y deportes, con múltiples retos por nivel; sin embargo, los especialistas estuvieron de acuerdo en que si se tenía algo complejo sería muy difícil de entender por los niños con autismo, especialmente para los de menor edad. Por lo tanto, los especialistas decidieron definir una historia más simple y general, relacionada con conceptos que los niños aprenden en su salón de clases. Entonces, se propuso una historia en la granja, ya que a los niños con autismo les gustan mucho los animales y las actividades que realizan en su salón de clases contienen ejemplos que utilizan animales. Después de varias iteraciones, los especialistas realizaron bosquejos de una historia donde un granjero pide ayuda a dos pequeños granjeros para encontrar sus animales de la granja, como cochitos y vacas, que habían escapado de sus corrales debido a una tormenta que los espantó. Para evitar lo repetitivo, los especialistas sugirieron incluir diferentes animales y variar sus corrales y escenarios –como cochitos en sus corrales y vacas jugando en una pradera. Mediante esto, los especialistas coincidieron que la mayoría de los niños con autismo podrían entender fácilmente la historia propuesta y les gustaría la temática.

“...Comúnmente utilizamos imágenes de animales para apoyar otras terapias [en autismo]. Por ejemplo, utilizamos imágenes de animales de la granja para enseñarles como asociar los animales con los sonidos o colores [como el “muuu” de una vaca y que las vacas son blancas con negro]. A la mayoría de los niños les gusta, por lo que un tema con animales podría ser entendido fácilmente por ellos. También, sería un tema más general y divertido para la mayoría de los niños con autismo ...” [maestro (psicólogo infantil)5].

Proporcionar recompensas a logros a corto y largo plazo. Las recompensas también ayudan a mantener el enganche del niño.

“... [puedes mantener el enganche del niño] dándole recompensas, proporcionándole estímulos visuales constantemente, como monedas, estrellas o premios, ese tipo de cosas ...” [diseñador]

Los especialistas (ver Tabla 1) discutieron diferentes tipos de recompensas que podrían ser atractivas para los niños con autismo. Basándonos en la literatura (Hallford y Hallford, 2001), y siendo consistentes con

nuestro entendimiento en común relacionado a las recompensas en video-juegos, se decidió utilizar monedas como recompensas. Estas monedas estarían distribuidas a lo largo del camino y el personaje debería recolectarlas –como en el video-juego de Mario Bros. Sin embargo, después de ver los bosquejos de las recompensas, los especialistas mencionaron que el uso de las monedas como recompensas no eran muy apropiadas para los niños con autismo, ya que la mayoría no entienden el concepto de monedas. Por lo que los especialistas propusieron aprovechar la historia del video-juego y usar los animales como recompensas. Entonces, se definió que los niños deberían recolectar los animales en el camino (Figura 11). Los especialistas también discutieron la importancia de establecer diferencias entre objetivos a corto y largo plazo. Por lo que propusieron tener diferentes tipos de animales en el camino, por ejemplo, tener un cochito sucio después de recolectar cinco cochitos limpios. Los cambios sutiles en la apariencia de los animales alentarían a los niños a mantenerse enfocados por un período de tiempo más largo. Los niños pueden interpretar estos cambios como una recompensa por un pequeño logro y podría servir como un indicador de progreso para mantenerlos enfocados en alcanzar un objetivo mayor. A largo plazo, después de completar la sesión de neuroretroalimentación del día, los niños obtendrían como recompensa una felicitación y agradecimiento por parte del granjero, con imágenes de globos y fuegos artificiales. También, el número de animales recolectados podría ser utilizado como “dinero” para comprar accesorios y personalizar su avatar en una tienda dentro del video-juego.

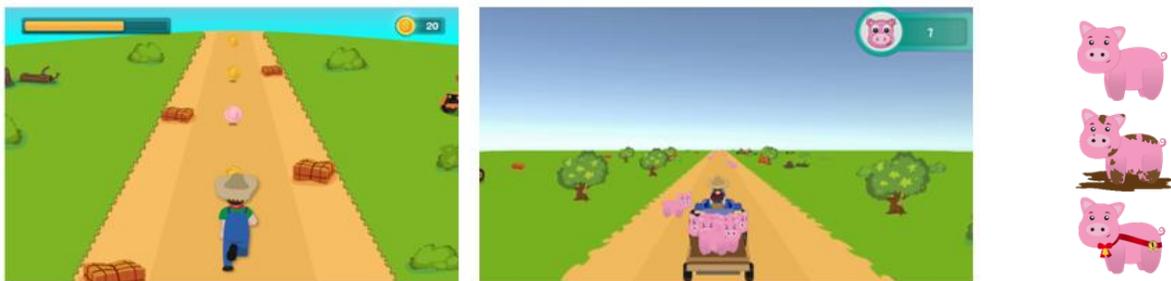


Figura 11. Cambios principales en el objetivo principal de la fase de actividad en el prototipo inicial de FarmerKeeper. Recolectando monedas en la fase de actividad (izquierda), buscando animales durante la fase de actividad (centro), y diferentes tipos de cochitos que se muestran en el camino como recompensas de logros a corto plazo (derecha).

Establecer un vínculo entre los usuarios y el personaje del video-juego. También, se encontró que el desarrollo de personajes es algo importante para crear un ambiente más inmersivo, donde el usuario pueda establecer un vínculo o conexión emocional con los personajes (*e.g.*, identificándose con los personajes y empatizando con ellos) (Dickey, 2006). De acuerdo a la literatura (Bailey et al., 2009; Hefner et al., 2007) y con base en los comentarios de los especialistas en las sesiones de diseño, se encontró que el video-juego debería permitir a los usuarios personalizar el género del personaje en el video-juego [17],

así como sus características (e.g., la ropa y color de piel) [18]. Al hacerlo, el video-juego podría ayudar más fácilmente al usuario a establecer un vínculo con el personaje.

“... [para los niños con autismo] el video-juego es más atractivo cuando tiene un personaje. Tener un personaje ayudará a los niños a tener alguien con quien identificarse en el video-juego, sentirán que son representados en el video-juego. [Esta empatía con el personaje] los motivará a tener un mejor desempeño en el video-juego ...” [experto en juegos serios].

Todos los maestros estuvieron de acuerdo en que el personaje debería tener características morfológicas humanas, para que fuera más fácil de entender por los niños con autismo y pudieran establecer un mejor vínculo identificándose con el personaje (Birk et al., 2016) (e.g., en el caso de que el personaje principal no fuera un humano y fuera un animal, éste debería verse humanizado, es decir, hablar, caminar en dos patas, vestir ropa, etc...). Para la personalización del género del personaje, nuestro prototipo permite seleccionar un pequeño granjero masculino o femenino. Adicionalmente, el usuario puede utilizar las monedas para comprar accesorios en la tienda (e.g., sombreros, camisetas, pantalones, color del cabello o piel, etc.). Aunque en otras investigaciones se han reportado otras formas de personalización de personajes, nuestros especialistas quisieron mantener el juego lo más simple posible para que fuera más fácilmente comprensible para los niños con autismo y evitar confusiones.

3.3.2 Imitar estrategias actuales de ayudas

Los resultados también muestran que los especialistas utilizan una variedad de estrategias para ayudar a los niños con autismo a permanecer en una actividad. Estas estrategias involucran darles alguna ayuda verbal, visual y/o física cuando es necesario (Hayes et al., 2010). Estas ayudas podrían ser implementadas en el video-juego BCI, diseñando los estímulos visuales y auditivos apropiados (Escobedo et al., 2014). Los especialistas estuvieron de acuerdo en que las ayudas deben de ser cortas, específicas e imitar un lenguaje común al que los niños con autismo estén acostumbrados.

Representación de figuras de autoridad. Encontramos que los niños con autismo perciben a los cuidadores/maestros como personas que representan una autoridad y en consecuencia sus ayudas son altamente efectivas (Bernardini y Porayska-Pomsta, 2013). Por lo que los especialistas estuvieron de acuerdo en que en el video-juego BCI se debería imitar esta figura de autoridad para darle ayudas e

instrucciones al niño. Los especialistas decidieron diseñar a un granjero que representaría esta figura de autoridad e imitaría el rol de los cuidadores/maestros de la vida real. A la vez, el granjero debería imitar el lenguaje y las ayudas que son utilizadas normalmente en Pasitos.

“... Las instrucciones deben de ser específicas, deben de ser cortas, no pueden ser instrucciones largas. Por ejemplo: ‘pon atención’, ‘no te muevas’ ...” [maestro (psicólogo infantil) 4]

El granjero explica la historia del video-juego a los niños y aparece cada vez que el niño pierde atención o cuando el niño de está moviendo mucho. Por ejemplo, cuando el niño pierde atención, el granjero ayuda al niño con una instrucción verbal como “vamos, tu puedes” o “concéntrate, tu puedes”; y cuando el niño se está moviendo mucho, el granjero aparece y resalta el movimiento del niño diciéndole “tranquilo” o “¡Oh, oh!, sin moverse”.

Combinando correspondencias de modo cruzado. Al diseñar los estímulos del video-juego BCI, los especialistas también explicaron que algunos niños atienden más a los estímulos visuales y otros a los estímulos auditivos; por lo que sería mejor si ambos tipos de estímulos son representados en el video-juego BCI.

“... tienes que tener algo visual para atraer la atención de los niños y algo más... no solo la parte visual, tienes que complementarlo con sonidos ...” [Experto en neuroretroalimentación].

No obstante, para facilitar la integración sensorial, los sonidos, los estímulos visuales, y las actividades deben tener una correspondencia. En muchas situaciones cotidianas, nuestros sentidos son bombardeados con muchas señales unisensoriales diferentes al mismo tiempo. *“Para obtener la estimación más verídica, y menos variable, de los estímulos/propiedades de nuestro entorno, necesitamos combinar lo que percibimos individualmente por nuestros sentidos sobre un objeto en particular, dejando a un lado todo aquello correspondiente a otros objetos o eventos separados”* (Spence, 2011). La correspondencia modal cruzada debe ser personalizada para cada ayuda, así como sus cualidades incluyendo el tipo de voz usada, el volumen, la periodicidad, etc.

3.3.3 Promover una buena postura

Durante las sesiones de neuroretroalimentación, los terapeutas les piden a los niños moverse lo menos posible y evitar movimientos bruscos, ya que el movimiento incrementa el ruido en la señal leída por el dispositivo BCI. Sin embargo, los especialistas explican que los niños atienden esta instrucción solo al principio de la sesión, y conforme la sesión va avanzando los niños comienzan a aburrirse, cansarse, o distraerse. Estos cambios se ven reflejados fuertemente en la postura del niño y en que el niño comienza a incrementar sus movimientos.

“... [algunos de los problemas a los que nos enfrentamos al realizar sesiones de neuroretroalimentación con niños con autismo] incluyen tener que estar cuidando los movimientos del niño, así como su mala postura, especialmente con aquellos niños que tienen desordenes por déficit de atención. Los niños ocupan estar sentados, y derechos en la silla... Cuando [los niños] comienzan a distraerse o a aburrirse, se comienzan a mover, y no mantienen una postura adecuada ...” [Experto en neuroretroalimentación]

Encontramos que los terapeutas de neuroretroalimentación gastan una cantidad tiempo considerable redireccionando la atención del niño por medio de instrucciones verbales y/o físicas, tratando de reducir sus movimientos (Mihajlovic et al., 2015); instruyendo a los niños a mantener una “buena” postura, indicándoles que se calmen, se sienten derechos y traten de moverse lo menos posible. En un estudio previo que realizamos con niños con autismo utilizando un dispositivo BCI comercial (Cibrian et al., 2018), encontramos que corrigiendo la postura de los niños estos tienden a moverse menos. Por lo que, el video-juego BCI debe incrementar la conciencia de los niños hacia sus movimientos para evitar que se estén moviendo mucho durante las sesiones de neuroretroalimentación, evitando incluir movimientos que puedan servir de modelo para que el niño comience a moverse, y manteniendo un entorno libre de estrés.

Incrementando la conciencia de los movimientos atípicos. Durante las discusiones de nuestro diseño, los especialistas estuvieron de acuerdo en que los niños de todas formas se moverían aun cuando se les diera la instrucción inicial de intentar no moverse tanto. Por lo que en lugar de pedirles a los niños dejarse de mover, activamente el video-juego BCI debería hacer ver a los niños cuando se están moviendo para que dejen de hacerlo, ya que la mayoría de los niños con autismo no se dan cuenta de sus movimientos –la literatura muestra que los individuos con autismo carecen o tienen poca conciencia sobre sus movimientos corporales (Zalapa y Tentori, 2013). El video-juego BCI debería incluir estímulos visuales/auditivos como indicadores para hacer ver a los niños cuando se están moviendo y darles una ayuda para que dejen de hacerlo, atiendan la pantalla y mantengan una buena postura (Alves et al., 2013). Durante el proceso de

diseño, después de que los especialistas discutieron diferentes soluciones para incrementar la conciencia de los movimientos atípicos, estuvieron de acuerdo en que la mejor solución sería evitar que el niño continúe jugando el video-juego. Por lo que sugirieron que cuando el niño comenzara a moverse mucho la pantalla del video-juego se pusiera borrosa para permitir que el niño se enfocara completamente en las instrucciones que le da el granjero para evitar el movimiento.

Evitar modelar movimientos. Los especialistas discutieron que era importante evitar tener estímulos que puedan incitar sutilmente los movimientos. Volviendo a la discusión sobre la historia del video-juego, los especialistas estuvieron de acuerdo en que tener un video-juego con temática de deportes o superheroes podría contribuir fácilmente a generar movimientos –ya que la apariencia de los personajes y su comportamiento modelaría movimientos que los niños podrían intentar imitar. Aunque, sería imposible quitar todos los comportamientos que puedan incentivar al movimiento, especialmente en un juego tipo *corredor*; los especialistas estuvieron de acuerdo en que se deben reducir los comportamientos/acciones que inciten al movimiento tanto como sea posible.

Fomentar un ambiente libre de estrés para reducir la ansiedad. Durante el proceso de diseño, los especialistas explicaron que los niños necesitan estar cómodos y relajados para aumentar las posibilidades de tener un mejor desempeño durante las sesiones de neuroretroalimentación, y a la vez esto ayuda a reducir su ansiedad, que podría verse reflejada en más movimientos. Ya que la ansiedad es un síntoma prevalente en la mayoría de los niños con autismo (van Steensel et al., 2011); idealmente, debe ser disminuida en las sesiones antes de comenzar cada fase de *Actividad*.

“...la ansiedad es un síntoma cardinal en los niños con autismo ... [si los niños están ansiosos] primero, se necesita controlar su ansiedad, y después se puede comenzar la sesión o comenzar a tratar algún otro problema de comportamiento ...” [Experto en neuroretroalimentación]

Algunas estrategias que se reportan en la literatura para ayudar a los niños a estar calmados involucran el uso de sonidos relajantes (*e.g.*, sonidos naturalistas) y hacer pausas intermitentes para permitir a los niños tomar un descanso de la actividad que se esté realizando (Keay-Bright, 2007). Estos descansos deben imitar la fase de *Relajación* que se realiza al inicio de las sesiones de neuroretroalimentación.

“... [la fase de Relajación] debe ser tranquila y evitar que de forma inesperada los objetos se muevan bruscamente para ayudar a los niños a permanecer tranquilos ...” [maestra (psicóloga infantil) 3].

Los especialistas propusieron usar dos tipos diferentes de fases para relajar y disminuir la ansiedad de los niños. La primera fase debería estar al inicio de la sesión (fase de *Relajación*) para ayudar a los niños a prepararse para la actividad a realizar. Los especialistas imaginaron tener un video corto de un paisaje en la granja con unos pocos objetos representativos de la granja (*e.g.*, un tractor, una cerca, algunos árboles). Este video no debería tener movimientos bruscos y el comportamiento de los animales que aparecieran en el video debería ser tranquilo y evitar sorpresas. La segunda fase debería usarse entre las fases de *Actividad*, como un pequeño descanso (fase de *Descanso*). Los especialistas propusieron tener una animación corta de los animales de la granja encontrados comiendo, tomando agua, o jugando/caminando después de regresar a sus corrales. Esta animación debería estar relacionada a la actividad, para facilitar la transición entre fases. A la vez, los estímulos visuales de los videos deberían ser complementados con sonidos naturalistas relajantes, como el sonido de viento.

3.4 Implementando FarmerKeeper

FarmerKeeper es un video-juego BCI diseñado para apoyar sesiones de neuroretroalimentación de niños con autismo. Utiliza un dispositivo BCI comercial para leer la atención de usuario y controlar los estímulos visuales y auditivos en el video-juego.

3.4.1 Mecánicas y características de juego

La historia del video-juego se desarrolla en la granja. El objetivo principal es mantener la atención del usuario por arriba de un umbral para controlar un personaje que va buscando los animales perdidos de la granja para regresarlos a sus corrales.

Al inicio del video-juego, un granjero le cuenta al niño que la noche anterior hubo una tormenta que espantó a los animales, estos escaparon de sus corrales y se perdieron. El granjero juega el rol del terapeuta en neuroretroalimentación dentro del video-juego, dando instrucciones visuales y verbales para mantener al niño motivado y enfocado, así como ayudarlo a mantener una buena postura sin movimientos durante el video-juego. Un niño granjero conduce un tractor para buscar los animales perdidos y devolverlos a sus corrales. La atención del usuario, leída mediante un dispositivo BCI comercial, controla

la velocidad del tractor, de acuerdo con un umbral predefinido por el terapeuta al inicio de la fase de actividad. Este umbral se puede utilizar para incrementar la dificultad del video-juego de acuerdo al progreso de cada niño a través de las sesiones, así como de acuerdo a sus capacidades. También, FarmerKeeper cuenta con varios escenarios, donde el niño puede buscar diferentes animales (*i.e.*, *cochitos*, *gallinas* y *vacas*).

FarmerKeeper consiste en dos secciones principales: la sección de configuración/personalización y la sección de la sesión de neuroretroalimentación. En la sección de configuración/personalización, el terapeuta puede crear el perfil del niño, configurando aspectos como la duración de las fases de Actividad y de Descanso. El terapeuta puede poner la historia del juego, y cuando el niño tiene monedas, le puede ayudar a comprar cosas en la tienda para personalizar la apariencia del tractor o del pequeño granjero (Figura 12). También, el terapeuta selecciona el escenario del mapa para elegir que animales buscará el niño.



Figura 12. Sección de configuración/personalización de FarmerKeeper. Menú de usuarios (arriba-izquierda), Perfil/Configuración del usuario (arriba-centro), y Menú principal (arriba-derecha). Historia (abajo-izquierda), selección y personalización del personaje (abajo-centro) y mapa de escenarios (abajo-derecha).

La sección de la sesión de neuroretroalimentación consiste en tres fases: la fase de *Relajación*, la fase de *Actividad*, y la fase de *Descanso* (Figura 13).

Fase de *Relajación* (Figura 13, arriba-izquierda). Esta fase muestra un video donde se da un recorrido por los lugares de la granja que el niño visitará para encontrar los animales perdidos. De fondo, utiliza un sonido ambiental del viento para reducir la ansiedad del niño. El terapeuta debe aprovechar este tiempo para colocar el dispositivo BCI en la cabeza del niño.

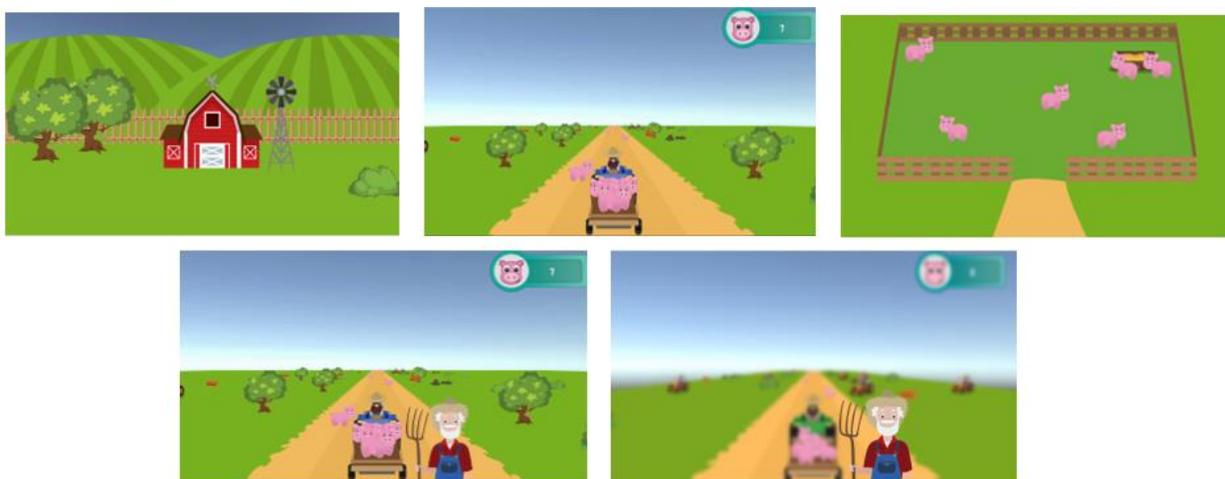


Figura 13. Sección de la sesión de Neuroretroalimentación de FarmerKeeper. Fases de Relajación (arriba-izquierda), Actividad (arriba-centro) y Descanso (arriba-derecha). La fase de Actividad en un momento de no atención (abajo-izquierda) y en un momento de movimiento (abajo-derecha).

Fase de *Actividad* (Figura 13, arriba-centro). En esta fase, el niño granjero conduce un tractor para buscar los animales perdidos. La atención del niño controla la velocidad con la que avanza el tractor (Algoritmo 1). Cuando el niño tiene buena atención (*i.e.*, tiene un valor de atención igual o arriba del umbral predefinido por el terapeuta), el niño granjero comienza a avanzar en su tractor y recolectar los animales que van apareciendo a un lado del camino del centro (Figura 13, arriba-centro). Cuando el niño pierde atención (*i.e.*, tiene un valor de atención por debajo del umbral predefinido), el tractor del niño granjero comienza a bajar su velocidad. El volumen de la música de fondo también incrementará o decrecerá gradualmente de acuerdo con la atención del niño. Si la atención del niño se encuentra por debajo de un umbral predefinido la música del video-juego y el pequeño granjero se detendrán completamente. Cuando el niño granjero se detiene por unos cuantos segundos, comenzará a hacer gestos con el objetivo de recuperar la atención del niño. Si el niño no recupera su atención, aparecerá el granjero para dar una instrucción corta y con ello intentar recuperar la atención del niño, así como motivarlo para que continúe con el video-juego (Figura 13, abajo-izquierda). También, durante esta fase, si la señal recibida por el dispositivo BCI es muy ruidosa (Algoritmo 2), debido a movimientos, la pantalla se pondrá borrosa. El granjero aparecerá de nuevo y dará una instrucción corta al niño para guiarlo y ayudarlo a mantener una buena postura y poder continuar con el video-juego (Figura 13, arriba-derecha). Si el niño deja de moverse la pantalla volverá a la normalidad, y podrá continuar con la actividad. La fase de *Actividad* termina cuando el niño alcanza el tiempo predefinido para esta fase, especificado por el terapeuta en la sección de configuración/personalización. Al terminar la fase de *Actividad* el granjero le da al niño unas monedas como recompensa por su ayuda. Después, el niño puede usar sus monedas en la tienda.

Algoritmo 1. Pseudocódigo del movimiento del tractor.

```

1. movimientoTractor(umbralAtencion, velocidadPredefinida, volumenPredefinido)
2. nivelAtencion = obtenerNivelAtencion();
3.   Si nivelAtencion  $\geq$  umbralAtencion hacer
4.     velocidad  $\leftarrow$  velocidadPredefinida + (nivelAtencion – umbralAtencion);
5.     volumen  $\leftarrow$  volumenPredefinido + (nivelAtencion – umbralAtencion);
6.     moverTractor(velocidad);
7.     volumenMusica(volumen);
8.   sino
9.     detenerTractor();
10.    detenerMusica();
11.    mostrarGranjero(instruccionAtencion);
12.  FinSi
13. Fin

```

Algoritmo 2. Pseudocódigo de la detección de ruido en la señal EEG.

```

1. deteccionRuido(umbralRuido)
2. calidadSeñal = obtenerCalidadSeñal();
3.   Si calidadSeñal > umbralRuido hacer
4.     detenerTractor();
5.     detenerMusica();
6.     ponerBorroso();
7.     mostrarGranjero(instruccionRuido);
8.   FinSi
9. Fin

```

Fase de *Descanso* (Figura 13, arriba-derecha). El niño granjero llega al corral de los animales que recuperó, y FarmerKeeper muestra una animación de los animales perdidos que regresaron a sus corrales. Una vez en sus corrales, los animales se encuentran caminando, jugando, comiendo y tomando agua. La fase de *Descanso* termina cuando el niño alcanza el tiempo predefinido por el terapeuta para esta fase. Al final de esta fase, el terapeuta puede elegir terminar la sesión o continuar con otra fase de *Actividad*. Cuando decide continuar, el terapeuta puede seleccionar otros nuevos animales para buscar.

3.4.2 Escenario de uso

Para ejemplificar como se utiliza FarmerKeeper en la práctica, revisaremos el escenario presentado anteriormente (ver sección 3.2):

Hoy, Mate jugará FarmerKeeper y Patty selecciona su perfil del menú de usuarios (Figura 13, arriba-izquierda). Ella especifica que las fases de actividad durarán 3 minutos intercaladas con fases de descanso de 1 minuto. Patty establece un umbral de atención de 40 unidades de atención (Figura 13, arriba-centro). Patty selecciona el tractor verde (Figura 13, abajo-centro). Mate le dice a Patty que quiere utilizar el tractor azul; pero, ella le explica a Mate que el tractor azul está bloqueado y que primero necesita buscar animales para ganar monedas y poder desbloquearlo. Como Mate se encuentra un poco ansioso y se está moviendo mucho, Patty entra a la fase de Relajación. Mate y Patty miran un pequeño video de lugares de la granja donde Mate buscará los animales perdidos (Figura 13, arriba, izquierda). Mate comienza a calmarse, por lo que Patty le explica que necesita usar el dispositivo BCI para poder buscar los animales y la coloca en la cabeza de Mate.

Continuando, cuando Patty entra al mapa de FarmerKeeper (Figura 13, abajo-derecha), Mate le dice que le gustaría buscar cochitos. Patty selecciona el escenario de los cochitos y comienza la fase de Actividad. Durante el primer minuto la atención de Mate se encuentra por arriba del umbral y el niño granjero comienza a avanzar en su tractor con una buena velocidad (Figura 13, arriba-centro). Cuando Mate se distrae y su atención disminuye por debajo del umbral, el tractor se detiene. El granjero aparece y le dice: “vamos, tú puedes” (Figura 13, abajo-izquierda). Mate recupera su atención en FarmerKeeper y la velocidad del tractor comienza a incrementarse. Mate comienza a ponerse un poco ansioso y el dispositivo BCI, la pantalla de FarmerKeeper se pone borrosa. El granjero aparece de nuevo y le dice: “tranquilo” (Figura 13, abajo-derecha). Mate recupera su concentración y deja de moverse. Después de 3 minutos de recolectar cochitos jugando FarmerKeeper, Mate toma 1 minuto de descanso. El granjero felicita a Mate por todos los animales que encontró, dándole las gracias por ayudarlo y le da algunas monedas según el número de animales encontrados. Mate mira a los animales que encontró de nuevo en su corral, moviéndose, comiendo y tomando agua (Figura 13, arriba-derecha). Mate se ríe y le pregunta a Patty si ahora puede buscar vacas. Después de la tercera fase de Actividad la sesión de neuroretroalimentación termina con éxito.

Patty retira el dispositivo BCI de la cabeza de Mate y lo felicita por su buen trabajo. Patty invita a Mate a regresar de nuevo y le recuerda que la próxima vez con las monedas que ganó podrá desbloquear y usar el tractor azul para buscar más animales.

3.4.3 Arquitectura de FarmerKeeper

Se utilizaron los dispositivos BCI comerciales BrainLink y MindWave ya que son fáciles de colocar y ambas internamente tienen el chip *ThinkGear*, el cuál mide la atención en una escala de 0 a 100 a una razón de 1Hz, a través de su algoritmo propietario *eSense*. El chip *ThinkGear* también mide la calidad de la señal en una escala de 0 a 255 (entre más grande es el número el ruido detectado es mayor) a una razón de 1Hz. Además, comparadas con otros dispositivos BCI comerciales (*i.e.*, Epoc, Muse, etc. (Mihajlovic et al., 2015)), encontramos que BrainLink y MindWave eran más apropiadas para utilizarse por los niños con autismo, ya que su diseño simple y minimalista puede reducir una posible ansiedad causada por utilizar accesorios voluminosos en la cabeza. Sin embargo, la arquitectura del desarrollo de FarmerKeeper es flexible y se podría trabajar con otros dispositivos BCI.

Se utilizaron los valores dados por el algoritmo *eSense* como los valores de entrada, equivalentes a la atención del usuario (Garzotto et al., 2016; Lee, 2009; Patsis et al., 2013; Rebolledo-Mendez et al., 2009; Yoon et al., 2013) y la calidad de la señal, para controlar el video-juego BCI. Cuando un valor de atención es igual o mayor al umbral definido por el terapeuta significa que el usuario está poniendo atención; en el caso contrario, significa que el usuario está distraído. El terapeuta utiliza una pantalla de configuración en FarmerKeeper para configurar y cambiar este valor según sea necesario.

FarmerKeeper no infiere la postura del usuario; en su lugar, se toma ventaja del efecto que tiene la postura en los movimientos, y cuando el usuario comienza a moverse y se detecta ruido en la señal leída por el dispositivo BCI, el sistema da alguna indicación para intentar que el usuario mantenga una buena postura. Para inferir los movimientos del usuario, se definió un umbral empírico para el valor de calidad de la señal calculado por el chip *ThinkGear* del dispositivo BCI. El umbral fue definido basándose en observaciones y datos de un estudio previo conducido con niños con autismo utilizando el dispositivo BCI MindWave de Neurosky (Cibrian et al., 2018). Si el valor de calidad de la señal es mayor (>) que 25, el video-juego BCI infiere que existe mucho ruido y detiene el juego; si el valor de la calidad de la señal es menor o igual (<=) a 25 el ruido es mínimo y el video-juego BCI continúa normalmente.

La arquitectura de FarmerKeeper tiene dos nodos principales: el nodo <<Diadema BCI>> que representa el dispositivo BCI utilizado para medir la actividad cerebral del usuario y el nodo <<PC Host>> que es el responsable de ejecutar las mecánicas del video-juego BCI (Figura 14). FarmerKeeper fue implementado como un video-juego 2D programado en C# utilizando el software de Unity® (Engine, 2015).

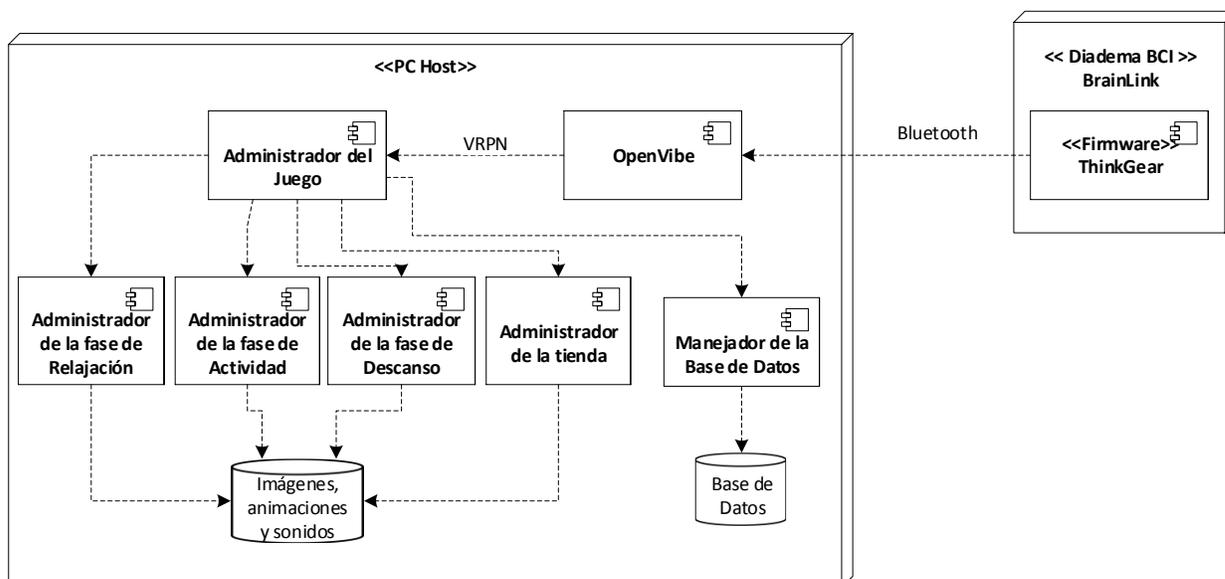


Figura 14. Arquitectura de FarmerKeeper.

El nodo <<PC Host>> incluye los siguientes componentes:

OpenVibe<<ejecutable>>: este componente es una plataforma de software de código abierto dedicada al diseño, pruebas y uso de sistemas BCIs (Renard et al., 2010). En el caso de FarmerKeeper recibe los datos del dispositivo BCI a través de una conexión Bluetooth.

Administrador del Juego: este es el motor del video-juego BCI. Coordina la ejecución del resto de los componentes del video-juego BCI. Este componente interactúa con el componente *OpenVibe* por medio de una *VRPN* (por sus siglas en inglés, *Virtual Reality Peripheral Network*), para obtener los datos del dispositivo BCI.

Administrador de la fase de relajación, *administrador de la fase de actividad*, y *administrador de la fase de Descanso*: estos componentes ejecutan el motor para cada una de las fases de la sesión de neuroretroalimentación (ver sección 3.2.) cargando los recursos gráficos y de audio, así como las reglas que gobiernan cada una de las fases.

Administrador de la Tienda: este componente es el motor que maneja la tienda. Carga los objetos disponibles en la tienda y guarda la información de los objetos que ha comprado cada jugador. También, permite al jugador personalizar su personaje y el tractor para jugar.

Manejador de la Base de Datos: este componente conecta con la base de datos, y es utilizado para obtener la información específica de cada jugador almacenado en la base de datos (*e.g.*, el perfil de usuario, el nombre, el personaje, las monedas, etc.). También, este componente es el responsable de guardar en la base de datos la información potencialmente útil para monitorear los registros del desempeño de cada jugador.

3.5 Resumen y conclusiones

Este capítulo describe el diseño contextual que se realizó para desarrollar FarmerKeeper, un video-juego BCI para apoyar sesiones de neuroretroalimentación de niños con autismo, controlado por medio de un dispositivo BCI comercial.

El diseño contextual involucró un estudio cualitativo que incluyó entrevistas y observaciones para entender y conocer las necesidades de los usuarios potenciales. Se complementó el aprendizaje del estudio cualitativo y la literatura con varias sesiones de diseño y sesiones de co-diseño involucrando a los usuarios potenciales de FarmerKeeper. Como resultado del estudio cualitativo, se enlistaron las fases de una sesión de neuroretroalimentación (*i.e.*, fase de *Relajación*, fase de *Actividad*, y fase de *Descanso*). Estas fases fueron utilizadas como base para diseñar las diferentes secciones del video-juego BCI.

Basándonos en la revisión de la literatura y el diseño contextual, se encontraron tres implicaciones y ocho aspectos de diseño que se deben tomar en cuenta para el desarrollo de un video-juego BCI para apoyar sesiones de neuroretroalimentación de niños con autismo:

- a) Promover el enganche: (1) Mantener la historia simple, (2) Proporcionar recompensas a logros a corto y largo plazo, (3) Establecer un vínculo entre los usuarios y el personaje del video-juego.
- b) Imitar estrategias actuales de ayudas: (4) Representación de figuras de autoridad, (5) Combinando correspondencias de modo cruzado.
- c) Promover una buena postura: (6) Incrementando la conciencia de los movimientos atípicos, (7) Evitar modelar movimientos, (8) Fomentar un ambiente libre de estrés para reducir la ansiedad.

La historia de FarmerKeeper se desarrolla en la granja. El objetivo principal es mantener la atención del usuario por arriba de un umbral para controlar un personaje que va buscando los animales perdidos de la granja para regresarlos a sus corrales.

FarmerKeeper incluye un granjero que juega el rol del terapeuta en las sesiones de neuroretroalimentación dentro del video-juego, dando instrucciones visuales y verbales para mantener al niño motivado y enfocado, y ayudarlo a mantener una buena postura sin movimientos durante la sesión de neuroretroalimentación. Un niño granjero conduce un tractor para buscar los animales perdidos y devolverlos a sus corrales. La atención del usuario, leída mediante un dispositivo BCI, controla la velocidad del tractor, de acuerdo con un umbral predefinido por el terapeuta al inicio de la fase de *Actividad*.

FarmerKeeper consiste en dos secciones principales: la sección de configuración/personalización y la sección de la sesión de neuroretroalimentación. En la sección de configuración/personalización, se crea el perfil del niño, se configuran aspectos como la duración de las fases de *Actividad* y de *Descanso*, y se puede acceder a la historia del juego y la tienda del video-juego para personalizar la apariencia del tractor o del pequeño granjero. En la sección de la sesión de neuroretroalimentación consiste en tres fases: (1) fase de *Relajación*: muestra un video de los lugares de la granja y utiliza un sonido ambiental del viento para reducir la ansiedad del niño. En esta fase se coloca el dispositivo BCI en la cabeza del niño, (2) fase de *Actividad*: el niño granjero conduce un tractor para buscar los animales perdidos. Cuando el niño tiene buena atención el tractor comienza a avanzar y recolectar los animales que van apareciendo a un lado del camino del centro. Cuando el niño pierde la atención el tractor comienza a bajar su velocidad. El volumen de la música de fondo también incrementará o decrecerá gradualmente de acuerdo con la atención del niño. Si la atención del niño es muy baja la música del video-juego y el niño granjero se detendrán completamente, después de unos segundos, el niño granjero comenzará a hacer gestos con el objetivo de recuperar la atención del niño. Si el niño no recupera su atención, aparecerá el granjero para dar una instrucción corta y con ello intentar recuperar la atención del niño y motivarlo para que continúe con el video-juego. También, durante esta fase, si la señal recibida por el dispositivo BCI es muy ruidosa, debido a movimientos del niño, la pantalla se pondrá borrosa. El granjero aparecerá y dará una instrucción corta al niño para guiarlo y ayudarlo a mantener una buena postura y poder continuar con el video-juego. Si el niño deja de moverse la pantalla volverá a la normalidad, y podrá continuar con la actividad. La fase de *Actividad* termina cuando el niño alcanza el tiempo predefinido anteriormente. Al terminar la fase de *Actividad* el granjero le da al niño unas monedas como recompensa por su ayuda. (3) fase de *Descanso*: se muestra una animación de los animales perdidos que regresaron a sus corrales. Una vez en sus corrales,

los animales se encuentran caminando, jugando, comiendo y tomando agua. Después de un tiempo el terapeuta puede elegir terminar la sesión o continuar con otra fase de *Actividad* para buscar más animales.

En el desarrollo de FarmerKeeper se utilizaron los dispositivos BCI comerciales BrainLink y MindWave ya que son fáciles de colocar y ambas tienen el chip *ThinkGear* internamente, el cuál mide la atención en una escala de 0 a 100, a través de su algoritmo propietario *eSense* y la calidad de la señal en una escala de 0 a 255 (el ruido detectado es mayor entre más grande es el número). Se utilizaron los valores dados por el algoritmo *eSense* como los valores de entrada, equivalentes a la atención del usuario (Garzotto et al., 2016; Lee, 2009; Patsis et al., 2013; Rebolledo-Mendez et al., 2009; Yoon et al., 2013) y la calidad de la señal, para controlar el video-juego BCI.

Capítulo 4. Evaluación formativa

En este capítulo se presenta la evaluación formativa de FarmerKeeper realizada en el centro psicopedagógico Pasitos, A.C., en la ciudad de Tijuana, B.C. Durante la evaluación formativa se evaluó la usabilidad y experiencia de uso de FarmerKeeper, comparando los resultados con un video-juego BCI comercial usado comúnmente en sesiones de neuroretroalimentación para niños con autismo. También, con esta evaluación se buscó encontrar los beneficios potenciales que puede ofrecer FarmerKeeper, principalmente relacionados con mejorar la atención de niños con autismo.

Los objetivos de esta evaluación son los siguientes:

- Evaluar la usabilidad y experiencia de uso de FarmerKeeper al utilizarlo como herramienta de apoyo para las sesiones de neuroretroalimentación enfocadas a los problemas de atención de niños con autismo; en comparación con un video-juego BCI comercial usado comúnmente en sesiones de neuroretroalimentación.
- Determinar si los niños con autismo pueden usar FarmerKeeper durante las sesiones de neuroretroalimentación, sin mostrar lapsos de frustración y abandono del uso del video-juego BCI.

Se consideraron varios video-juegos BCI comerciales disponibles utilizados en sesiones de neuroretroalimentación. Como resultado de este análisis se decidió seleccionar *BrainCats* (Figura 15, derecha), ya que es uno de los video-juegos BCI más populares utilizado en clínicas especializadas donde utilizan tecnologías de *BrainMaster* (Mandryk et al., 2016); además que *BrainCats* era el que se asemejaba un poco más a *FarmerKeeper* por la temática tipo corredor y el uso de animales.



Figura 15. Capturas de pantalla de FarmerKeeper (izquierda) y BrainCats (derecha), condiciones usadas durante las sesiones de neuroretroalimentación.

BrainCats es una carrera donde participan 5 leopardos (Figura 15, derecha). El usuario selecciona un leopardo que correrá de acuerdo a la atención del usuario leída mediante un dispositivo BCI. El resto de leopardos corren de acuerdo a una función automatizada del sistema e independientemente de la atención de usuario. La velocidad de todos los leopardos depende de la duración de la carrera. El terapeuta establece manualmente la duración de la carrera antes de comenzar el juego. Durante la carrera, si la atención del usuario es igual o mayor a un umbral predefinido, las orillas del carril donde va el leopardo seleccionado por el usuario se iluminan. Estos estímulos visuales funcionan como retroalimentación de un buen desempeño en combinación con el cambio de velocidad del leopardo. Al final de la carrera, el usuario gana algunos trofeos en forma de animales, como, catarinas, colibrís, y changos, de acuerdo al lugar en que llegó a la meta. Si el usuario gana un trofeo de chango, escuchará el sonido del chango al inicio de la siguiente carrera. Estos trofeos se distribuyen en toda la pantalla superpuestos en el fondo de un bosque. Después de la primera carrera, cuando la atención del usuario es igual o mayor al umbral predefinido, todos los trofeos se mueven, como una retroalimentación por un buen desempeño.

4.1 Métodos

Para la evaluación formativa de *FarmerKeeper*, se realizó un estudio intra-sujetos en Pasitos. En el estudio participaron 12 niños con autismo, asistiendo cada uno a dos sesiones individuales de neuroretroalimentación. Los maestros respondieron cuestionarios de usabilidad y experiencia de uso y se entrevistó a los maestros para evaluar los video-juegos BCI que se utilizaron en el estudio.

4.1.1 Participantes

Doce niños con autismo⁶ de Pasitos, diagnosticados con autismo severo (American Psychiatric Association, 2013), participaron en el estudio. Al momento de realizar el estudio, los participantes tenían entre cuatro y once años de edad (edad promedio = 6 años; $\sigma = 2$ años). La mayoría de los participantes eran no verbales, tenían TDAH comórbido con presentación de problemas de inatención, eran hipersensibles, y no seguían un tratamiento farmacológico. También, ninguno de los participantes había asistido a una sesión de

⁶ por simplicidad de lectura, se utilizará el término *participante* para referirse a los niños con autismo severo que participaron en el estudio.

neuroretroalimentación antes del estudio. Sin embargo, la persona encargada de llevar a cabo las sesiones se capacitó en técnicas de neuroretroalimentación y dio un entrenamiento corto a los psicólogos involucrados en el estudio. El terapeuta entrenado en neuroretroalimentación realizó las sesiones de todos los participantes; pero, los maestros de cada participante asistieron a todas las sesiones. Ocho maestros diferentes participaron en el estudio. Para evitar sesgo al contestar los cuestionarios durante la etapa de evaluación, ninguno de los maestros fue involucrado anteriormente en el proceso de diseño. El terapeuta, los maestros, y los padres en representación de los niños con autismo llenaron por escrito un formato donde dieron su consentimiento de participación voluntaria (ver ejemplo en Anexo 1).

4.1.2 Instalación

Se equipó un cuarto de terapia en Pasitos con una computadora de escritorio, utilizada por el terapeuta para controlar el video-juego BCI y la grabación de los datos EEG durante las sesiones. A la computadora de escritorio se le agregó un segundo monitor para mostrar el video-juego BCI a los participantes; también se utilizó una video cámara (vista lateral-trasera) para monitorear las interacciones y reacciones de los participantes, y un *eye-tracker* GP3 para grabar la mirada de los participantes durante la sesión. Los participantes utilizaron el dispositivo BCI BrainLink durante las sesiones de neuroretroalimentación. Se retiraron todos los estímulos sensoriales disponibles en el cuarto, como muebles, cuadros o soportes visuales (Figura 16).

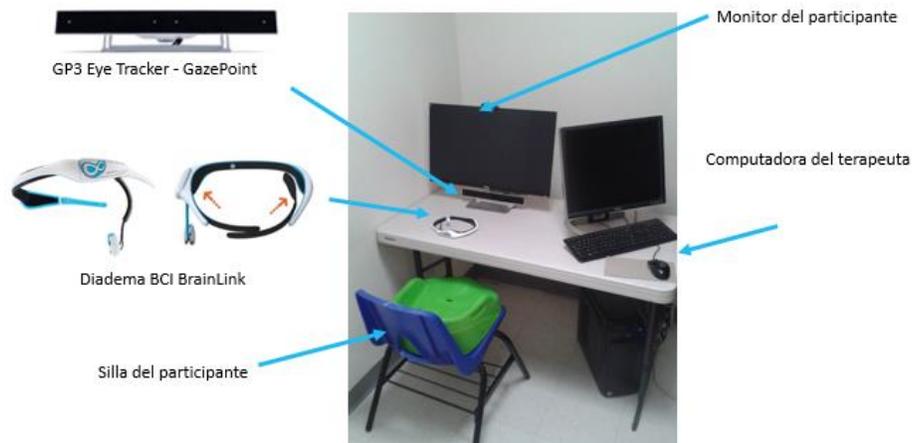


Figura 16. Una imagen capturada por la video cámara (vista lateral-trasera) mostrando la instalación del hardware en el cuarto de terapias de Pasitos para realizar las sesiones de Neuroretroalimentación.

4.1.3 Procedimiento

La evaluación consistió de 3 etapas: un proceso de sensibilización, 2 sesiones de neuroretroalimentación y la evaluación de las sesiones (Figura 3).

4.1.3.1. Proceso de sensibilización

Primero, ya que la mayoría de los participantes no aceptan fácilmente usar accesorios en su cabeza, se realizó un proceso de sensibilización (Figura 17, a). Durante este proceso, le pedimos a cada participante utilizar un prototipo que consistía en una banda de velcro que se colocaba alrededor de la cabeza y un clip simulando el clip del lóbulo de la oreja del dispositivo BCI, para que los participantes se acostumbraran a utilizar algo similar al dispositivo BCI BrainLink que se utilizó en la evaluación. Los participantes utilizaron el prototipo del dispositivo BCI durante sus actividades diarias en Pasitos días antes de asistir a las sesiones de neuroretroalimentación. El proceso de sensibilización duró aproximadamente 2 semanas, y el tiempo de uso fue variable, de acuerdo a la tolerancia de cada participante.

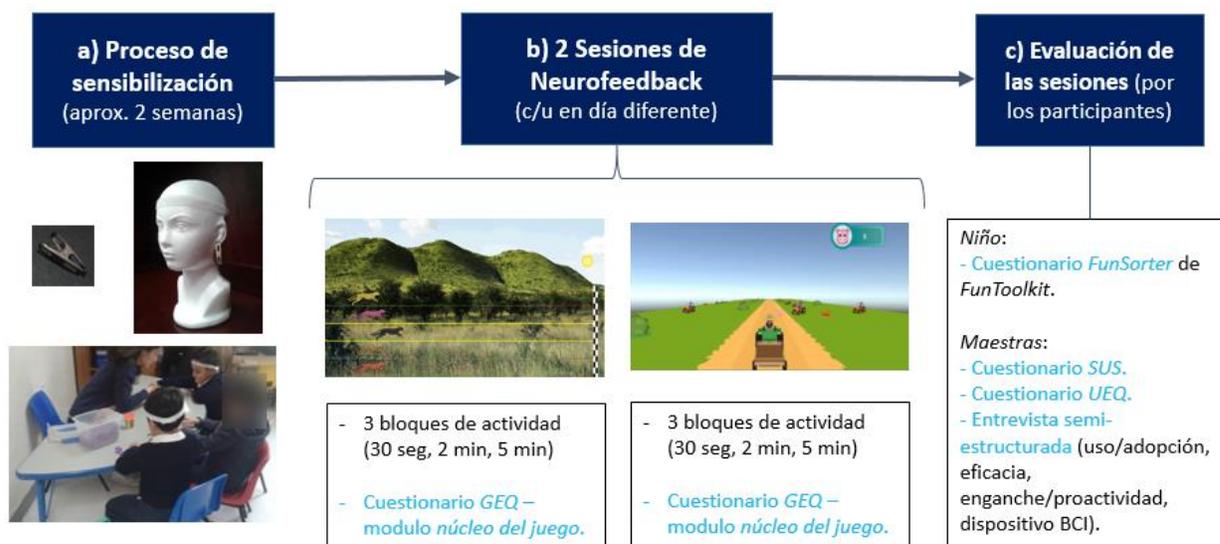


Figura 17. Procedimiento del estudio de la evaluación formativa.

4.1.3.2. Sesiones de Neuroretroalimentación

Antes de comenzar cada sesión de neuroretroalimentación, se calibraba un sensor de seguimiento ocular para cada usuario (4 min. aprox.). Esta fase no se necesita para la sesión de neuroretroalimentación; pero

se utilizó en este estudio para obtener información, por medio de los datos capturados por el sensor de seguimiento ocular, sobre dónde estaban mirando los participantes durante las sesiones y realizar un análisis posterior con esta información.

El estudio fue intra-sujetos –es decir, todos los participantes jugaron ambos video-juegos BCI, tanto FarmerKeeper como BrainCats (Figura 18). Los participantes completaron dos sesiones de neuroretroalimentación de 15 minutos aprox. cada una, en diferentes días (Figura 17, b). En el primer día, los participantes jugaron FarmerKeeper o BrainCats. Durante el segundo día, los participantes alternaron y jugaron el otro video-juego BCI. Para evitar y contrarrestar efectos de aprendizaje, la mitad de los participantes jugaron primero FarmerKeeper y la otra mitad jugaron BrainCats. Los participantes se asignaron aleatoriamente a cada grupo. Para reducir ruidos potenciales en la lectura de los datos EEG durante las sesiones de neuroretroalimentación, se les explicó a los participantes que deberían permanecer lo más quietos posibles y evitar movimientos abruptos. Aunque esto podría ser un reto para algunos de los participantes, durante las sesiones de neuroretroalimentación el terapeuta dio indicaciones verbales y/o físicas cuando era necesario, pidiéndoles que permanecieran sin moverse y lo más quietos.

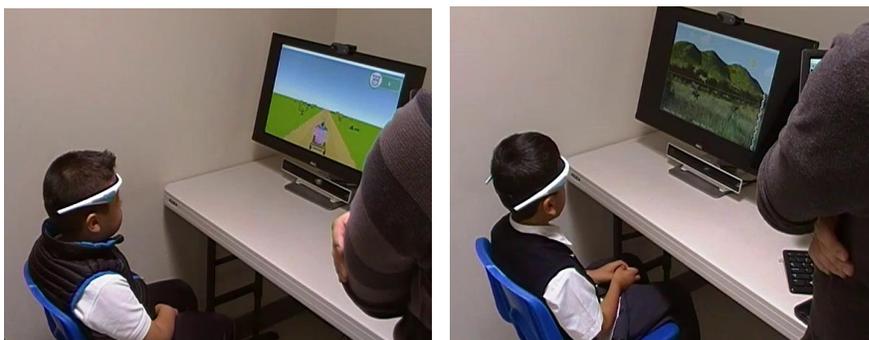


Figura 18. Sesiones de Neuroretroalimentación. Una imagen capturada de la video-cámara (vista lateral-trasera) durante las sesiones de neuroretroalimentación utilizando FarmerKeeper (izquierda) y BrainCats (derecha).

En cada sesión, primero el terapeuta le mostraba al participante el objetivo de cada video-juego BCI. Cuando jugaban con FarmerKeeper, los participantes veían un video sobre la historia del juego; en contraste, cuando jugaban BrainCats, el terapeuta explicaba verbalmente a cada participante la historia del juego. Luego, por 2 minutos (aprox.), los participantes completaban una tarea de relajación mientras el terapeuta colocaba el dispositivo BCI (*i.e.*, fase de *Relajación*). Después, los participantes seleccionaban su personaje y completaban tres fases de *Actividad*, cada una de duración más larga (*i.e.*, una de 30 seg., una de 2 min., y una de 5 min.), con descansos (*i.e.*, fase de *Descanso*) entre cada fase de *Actividad*, con una duración aproximada de la mitad del tiempo de cada fase de actividad. Para ambos video-juegos, el terapeuta especificó un umbral de atención de 40 unidades de atención.

Después de cada sesión, los maestros contestaron el módulo núcleo del juego del Cuestionario de Experiencia de Juego (GEQ, por sus siglas en inglés Game Experience Questionnaire (IJsselsteijn et al., 2008)) para evaluar la experiencia de juego de acuerdo al comportamiento de cada participante durante las sesiones. Aunque los maestros no son los usuarios finales conocen muy bien a los niños, ya que están en constante interacción con ellos, por lo que se utilizaron como “representantes” (proxies) para obtener información de sus percepciones sobre los comportamientos de los participantes –esto tomando en cuenta como referencia otros estudios que han utilizado “representantes” (proxies) con poblaciones no verbales (Tang y McCorkle, 2002).

4.1.3.3. Evaluación de las sesiones

Una vez que los participantes completaron las dos sesiones de neuroretroalimentación se realizó la evaluación de las sesiones (Figura 17,c).

Al final, los participantes respondieron el cuestionario *FunSorter* (que es parte del cuestionario *FunToolKit* (Read y MacFarlane, 2006)) para evaluar sus preferencias por uno de los video-juegos BCI que jugaron. Como el cuestionario *FunSorter* es un cuestionario fácil, corto y comprensible para responder, cada participante lo contestó por sí mismo, seleccionando una de dos cartas que se les mostraban como respuestas a cada una de las preguntas, cada carta tenía una imagen de cada video-juego BCI (*i.e.*, FarmerKeeper y BrainCats).

Después, los maestros contestaron el cuestionario “Escala de Usabilidad del Sistema” (*SUS*, por sus siglas en inglés *System Usability Scale*) (Brooke, 2013) y el cuestionario de Experiencia de Usuario (UEQ, por sus siglas en inglés *User Experience Questionnaire*) (Rauschenberger et al., 2013) por cada condición. Y se entrevistó a los maestros para comparar ambas condiciones, y obtener sus opiniones y retroalimentación acerca de los video-juegos BCI (Anexo 5).

4.1.4 Recolección de datos

Se aplicaron los cuestionarios Módulo núcleo del juego del cuestionario GEQ (IJsselsteijn et al., 2008), SUS (Brooke, 2013), UEQ (Rauschenberger et al., 2013), y FunSorter del cuestionario FunToolKit (Read y MacFarlane, 2006), descritos en la Tabla 2.

Tabla 2. Cuestionarios aplicados durante la evaluación formativa.

Cuestionario	Módulo núcleo del juego del cuestionario GEQ* (IJsselsteijn et al., 2008) (Anexo 2)	SUS (Brooke, 2013), (Anexo 3)	UEQ (Rauschenberger et al., 2013), (Anexo 4)	FunSorter del cuestionario FunToolKit** (Read y MacFarlane, 2006)
Respondido por	maestros	maestros	maestros	niños
Cantidad aplicados	n=24 (uno por cada sesión)	n=16 (uno por cada maestro, por video-juego BCI)	n=16 (uno por cada maestro, por video-juego BCI)	n=12 (uno por cada participante)
Cuando se aplicó	Después de cada sesión	Al final del estudio	Al final del estudio	Al final del estudio
Objetivo	Evaluar la experiencia de los participantes durante los video-juegos BCI.	Evaluar la percepción de usabilidad.	Evaluar la experiencia de uso.	Capturar las opiniones sobre el enganche de los participantes sobre los video-juegos BCI utilizados.
Procedimiento	Cada pregunta se responde utilizando una escala Likert de 5-puntos, de 0 (no está de acuerdo) a 4 (completamente de acuerdo).	Cada pregunta se responde utilizando una escala Likert de 5-puntos, de 1 (fuertemente en desacuerdo) a 5 (fuertemente de acuerdo) para medir la satisfacción del usuario.	Utiliza términos bipolares a las que se le otorga un puntaje en una escala Likert de 7-puntos, de -3 a +3, donde -3 representa la respuesta más negativa, 0 una respuesta neutral, y +3 la respuesta más positiva.	ordenar las actividades de acuerdo a las 5 dimensiones. Como un control para el cuestionario se alterna el orden en que se presentan las respuestas.
No. de preguntas/elementos	33 preguntas	10 preguntas	26 preguntas	5 preguntas
Dimensiones	7 dimensiones: inmersión, flujo, competencia, emociones positivas y negativas, tensión/enojo, y desafío.	1 dimensión	6 dimensiones: atractivo, capacidad de aprendizaje, eficiencia, confiabilidad, estimulación, y novedad.	5 dimensiones: me gustó más, más divertido, más fácil, más bonito, y me gustaría recibirlo como regalo
Resultado	Cada dimensión tiene un valor de 0 a 4	un valor único de 0 a 100 que representa la usabilidad	El puntaje de cada dimensión va de -1 a 2.5	Preferencia para cada uno de los 5 conceptos

*El cuestionario *GEQ* se divide en tres módulos: (1) *núcleo del juego*, (2) *aspecto social*, y (3) *post-juego*. Para evitar una sobrecarga solo se seleccionó el módulo *núcleo del juego*, ya que lo que se quería medir eran las experiencias de los participantes al momento de estar jugando los video-juegos BCI.

**El cuestionario FunToolKit se compone de tres cuestionarios: (1) *Smileyometer*, (2) *Again-again*, y (3) FunSorter En la evaluación los niños contestaron los tres cuestionarios. Sin embargo, para *Smileyometer* y *Again-again* la mayoría de los participantes solo seleccionaban la carita más feliz para la mayoría de las respuestas. Los maestros explicaron que la mayoría de los participantes no entendió cómo funcionaban estos dos cuestionarios y las respuestas de los niños no representaba sus preferencias –ya que esta población relaciona las “caritas felices” con cosas positivas y las seleccionaban porque las identifican como recompensas. Por lo que solo reportamos los datos del cuestionario *FunSorter*, para evitar un sesgo al presentar los resultados.

Se audio-grabaron y transcribieron todas las entrevistas ($n=8$) para su análisis posterior. La duración de todas las entrevistas fue de 2:48:59 hrs. (promedio = 21:07 min, $\sigma = 04:15$ min). Las entrevistas semi-estructuradas consistieron en preguntas acerca del uso y adopción, beneficios potenciales, y sobre el uso de los dispositivos BCI al utilizar FarmerKeeper y BrainCats.

Todas las sesiones con los videojuegos ($n=24$) fueron video-grabadas con una video-cámara (vista lateral-trasera) para analizar la atención y las emociones de los participantes. La duración de todos los videos fue de 5:13:55 hrs. (promedio = 13:05 min, $\sigma = 02:21$ min). Se grabaron registros del uso de FarmerKeeper y BrainCats para analizar más a fondo la actividad de los participantes durante las sesiones. Se grabaron todos los datos recibidos por el dispositivo BCI BrainLink para analizar la atención de cada participante durante las sesiones de neuroretroalimentación. Y se recolectaron y grabaron todos los datos del sensor de seguimiento ocular *GP3* para analizar la atención de los participantes con base a dónde estaban mirando los participantes durante las sesiones.

4.1.5 Análisis de datos

Los resultados de los cuestionarios *GEQ*, *SUS*, *UEQ*, y *FunSorter* fueron analizados de forma separada, utilizando las fórmulas y procedimientos especificados para cada cuestionario (Brooke, 2013; IJsselsteijn et al., 2008; Rauschenberger et al., 2013; Read y MacFarlane, 2006). Para los cuestionarios (*e.g.*, *GEQ*, *SUS*, *UEQ*, y *FunSorter*), comparamos los resultados de FarmerKeeper con los resultados de BrainCats. También, se compararon los resultados de ambos video-juegos BCI con los datos de referencia disponibles en los cuestionarios *SUS* (Brooke, 2013) y *UEQ* (Rauschenberger et al., 2013).

Para analizar los datos cualitativos de las entrevistas, se usaron enfoques de análisis deductivo, basándonos en las preguntas de investigación iniciales enfocadas en comprender la experiencia de interacción general de los participantes al utilizar FarmerKeeper. Se utilizó un análisis deductivo para examinar cómo los comportamientos observados y las percepciones reportadas apoyan o contradicen nuestras preguntas de investigación. Adicionalmente se utilizaron enfoques de análisis inductivos para un análisis de temas de nuestros datos del estudio. Para realizar el análisis inductivo se siguió un enfoque cualitativo que incluyó el uso de técnicas de teoría fundamentada (Strauss y Corbin, 1998) y diagramas de afinidad (Beyer y Holtzblatt, 1999) (*e.g.*, codificación abierta y axial (Strauss y Corbin, 1998)). Utilizando estas técnicas, se agruparon las citas y/o eventos obtenidos de las entrevistas para cubrir los temas

emergentes relacionados a la usabilidad, experiencia de uso, uso y adopción, y a los impactos en atención del uso de FarmerKeeper. Para analizar los datos se utilizó *atlas.ti* (Friese, 2014).

Para analizar las video-grabaciones, se utilizó un análisis secuencial, y se utilizó un esquema de codificación (Tabla 3) para codificar sistemáticamente los datos. Se estimó el tiempo total que los participantes estuvieron motivados en la actividad y la frecuencia de las emociones expresadas por los participantes. Estos datos se analizaron por participante, por condición.

Tabla 3. Definición del esquema de codificación utilizado para codificar los comportamientos.

Categoría	Comportamiento	Definición	Tipo de medición	
Comportamiento del participante	Motivación	En la tarea	El niño está enfocado y motivado en la actividad	Tiempo
		Fuera de la tarea	El niño no está motivado por realizar la actividad y se encuentra distraído	Tiempo
	Emoción	Positiva	El niño está sonriendo (alegría), riendo (divertido), entusiasmado por continuar (feliz)	Frecuencia
		Negativa	El niño bosteza (aburrido), se estira o busca otra posición en la silla (aburrido), se niega a continuar (molesto)	Frecuencia

Para el análisis de los datos del sensor de seguimiento ocular, se seleccionaron solo los datos de los participantes que completaron el proceso de calibración y con más de un 80% de los datos del sensor de seguimiento ocular sin ruido (*e.g.*, cuando los participantes se salían fuera del campo de visión del sensor de seguimiento ocular debido a sus movimientos). Para estos datos se seleccionaron 10 de los 12 participantes para FarmerKeeper y 7 de los 12 participantes para BrainCats, debido a que los datos de los participantes restantes (*i.e.*, 2 de 12 en FarmerKeeper y 5 de 12 en BrainCats) correspondían a datos muy ruidosos, ya que constantemente se movían y salían del campo de visión del sensor de seguimiento ocular, o en algunos casos durante la calibración el participante se movía demasiado y después de varios intentos no se pudo realizar una buena calibración y se decidió continuar con la sesión. Primero, se calculó un mapa de calor general por cada una de las sesiones por participante, y después se calculó un mapa de calor promedio para cada video-juego BCI utilizando los datos de todos los participantes seleccionados para cada video-juego BCI. Por último, para disminuir los valores atípicos y resaltar las áreas más vistas, se aplicó un filtro de suavizado de 20%, ya que el promedio del tiempo en el que el sensor de seguimiento ocular estuvo capturando datos sin ruido fue aproximadamente de 80% del tiempo total de la sesión.

Aunque nuestra muestra es pequeña, se realizó un análisis estadístico como el primer paso para probar la significancia de los resultados. Se aplicó la prueba de normalidad *Shapiro-Wilk* (Shapiro y Wilk, 1965) para

conocer si los datos eran paramétricos o no paramétricos. Para los datos con una distribución normal se aplicó una prueba T para variables dependientes (Student, 1908) –excepto para los datos del cuestionario *FunSorter*, para los que se aplicó una prueba exacta de Fisher [26] debido a la naturaleza de clasificación que presentan los datos. Para los datos no paramétricos se aplicó la prueba de rangos con signo de *Wilcoxon* (WILCOXON, 1946). Para todas las pruebas estadísticas se definió un intervalo de confianza de $\alpha=0.05$ (i.e., los resultados presentan una diferencia estadística significativa para $p \leq 0.05$).

4.2 Resultados.

En general, los resultados sugieren que los participantes encontraron FarmerKeeper más adecuado para apoyar las sesiones de neuroretroalimentación que BrainCats. También, los resultados sugieren que los participantes y maestros encontraron a FarmerKeeper más divertido, fácil de usar, y atractivo en comparación con BrainCats. Los maestros percibieron una experiencia de juego positiva y agradable en ambos video-juegos BCI. Sin embargo, los participantes estaban más motivados y mostraron más emociones positivas y menos emociones negativas al utilizar FarmerKeeper que con BrainCats.

4.2.1 Usabilidad

Los resultados del cuestionario *SUS* (Brooke, 2013) (Figura 19) muestran que en promedio los maestros estuvieron de acuerdo en que FarmerKeeper estaba por arriba del valor *acceptable* (promedio = 80.63, Figura 19) mientras que en promedio encontraron BrainCats solo un poco por arriba del valor *acceptable* (promedio = 70.63, Figura 19). También, todos los maestros (8 de 8) le dieron un puntaje a FarmerKeeper por arriba del valor *acceptable* mientras que solo la mitad (4 de 8) encontraron BrainCats por arriba del valor *acceptable*. Estos resultados muestran que la percepción de los maestros sobre la usabilidad de FarmerKeeper está por arriba de la percepción de BrainCats y otros datos de referencias de otros estudios que han utilizado el cuestionario *SUS* (Brooke, 2013). En general, estos resultados muestran que FarmerKeeper es *bueno* y que FarmerKeeper tiene una mejor usabilidad que BrainCats ($p=0.012307$).

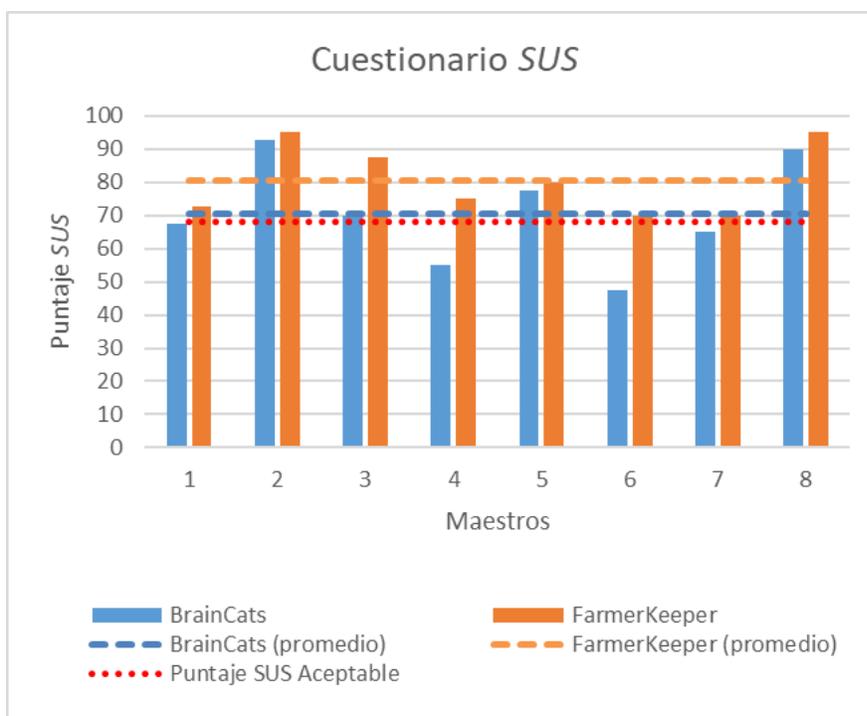


Figura 19. Resultados del cuestionario SUS. El puntaje tiene un valor entre 0 y 100, donde 0 significa que el usuario encontró el Sistema absolutamente inutilizable y 100 que el usuario encontró el sistema óptimamente utilizable. Los resultados mayores a 68 Son considerados “aceptables”.

4.2.1 Experiencia de uso.

Los resultados sugieren que tanto los maestros como los participantes percibieron que FarmerKeeper tenía una mejor experiencia de uso que BrainCats. También, sugieren que los maestros y participantes encontraron FarmerKeeper más divertido, fácil de usar, y atractivo. Los maestros percibieron una experiencia de juego positiva y divertida para ambos video-juegos BCI; sin embargo, los participantes mostraron más emociones positivas y menos emociones negativas al utilizar FarmerKeeper que al utilizar BrainCats.

4.2.1.1. Experiencia de uso de acuerdo al cuestionario UEQ

De acuerdo con el cuestionario *UEQ* (Rauschenberger et al., 2013), los resultados sugieren que los maestros percibieron que FarmerKeeper tiene una mejor experiencia de uso en comparación con

BrainCats (Figura 20). Analizando los resultados por categorías (Tabla 4), los maestros dieron un puntaje alto a FarmerKeeper en todas las categorías (promedio = 1.89), mientras que en BrainCats (promedio = 0.97) solo obtuvo un puntaje alto en la categoría de *confiabilidad*, con un puntaje bajo en la categoría *estimulación*, y un puntaje por arriba del promedio de los datos de referencia para las otras categorías (Figura 20).

Tabla 4. Resultados del cuestionario UEQ contestado por los maestros (N=8) para evaluar BrainCats (izquierda) y FarmerKeeper (derecha). Los puntajes van de -1 a 2.5. Con los intervalos de confianza ($p=0.05$) por categoría. El valor de confianza es una medida de la precisión de la estimación del promedio, entre más chico sea el valor de confianza, más alta es la precisión de la estimación.

Categorías	BrainCats						FarmerKeeper					
	Promedio	Desviación estándar	N	Confianza	Intervalo de Confianza		Promedio	Desviación estándar	N	Confianza	Intervalo de Confianza	
Atractivo	1.56	0.88	8	0.61	0.95	2.17	2.25	0.60	8	0.41	1.84	2.66
Transparencia	1.19	1.31	8	0.91	0.28	2.09	1.97	0.92	8	0.64	1.33	2.61
Eficacia	0.66	1.43	8	0.99	-0.34	1.65	1.88	0.67	8	0.46	1.41	2.34
Confiabilidad	1.66	0.78	8	0.54	1.12	2.20	1.88	0.55	8	0.38	1.49	2.26
Estimulación	0.41	1.89	8	1.31	-0.91	1.72	1.66	0.76	8	0.52	1.13	2.18
Novedad	0.94	1.11	8	0.77	0.17	1.71	1.72	0.87	8	0.60	1.12	2.32

Comparando nuestros resultados con los datos de referencia de otros estudios que usaron el cuestionario UEQ (Rauschenberger et al., 2013) para evaluar sistemas interactivos (Laugwitz et al., 2008); los resultados sugieren que los maestros percibieron FarmerKeeper como *excelente* y BrainCats como *promedio* (Figura 20). Analizando los resultados por categorías, FarmerKeeper fue percibido como *excelente* en todas las categorías, mientras que BrainCats fue percibido como *un poco por arriba del promedio* en las categorías *atractivo*, *transparencia*, *confiabilidad* y *novedad*, y como *por debajo del promedio* en las categorías *eficacia* y *estimulación*. Estos resultados sugieren que los maestros encontraron que FarmerKeeper tiene una mejor experiencia de uso que BrainCats, y nos sugiere que los maestros están más motivados por utilizar FarmerKeeper. Estos resultados pueden ser explicados parcialmente dado que los maestros percibieron FarmerKeeper menos tedioso que BrainCats; ya que FarmerKeeper tiene la posibilidad de cambiar los estímulos, seleccionando diferentes escenarios y animales, lo que lo hace más atractivo, incrementando la estimulación del video-juego BCI.

“... [a los participantes les gusto más] la granja [FarmerKeeper] porque se podían cambiar los animales y eso los mantenía [a los participantes] concentrados. En los leopardos [BrainCats] estaban como ‘ya lo hice una vez’, y muy posiblemente la siguiente carrera ya no era tan estimulante. En cambio, cuando jugaron con la granja [FarmerKeeper] primero buscaban cochitos, luego vacas, y los estímulos iban cambiando ...” [maestro 2].

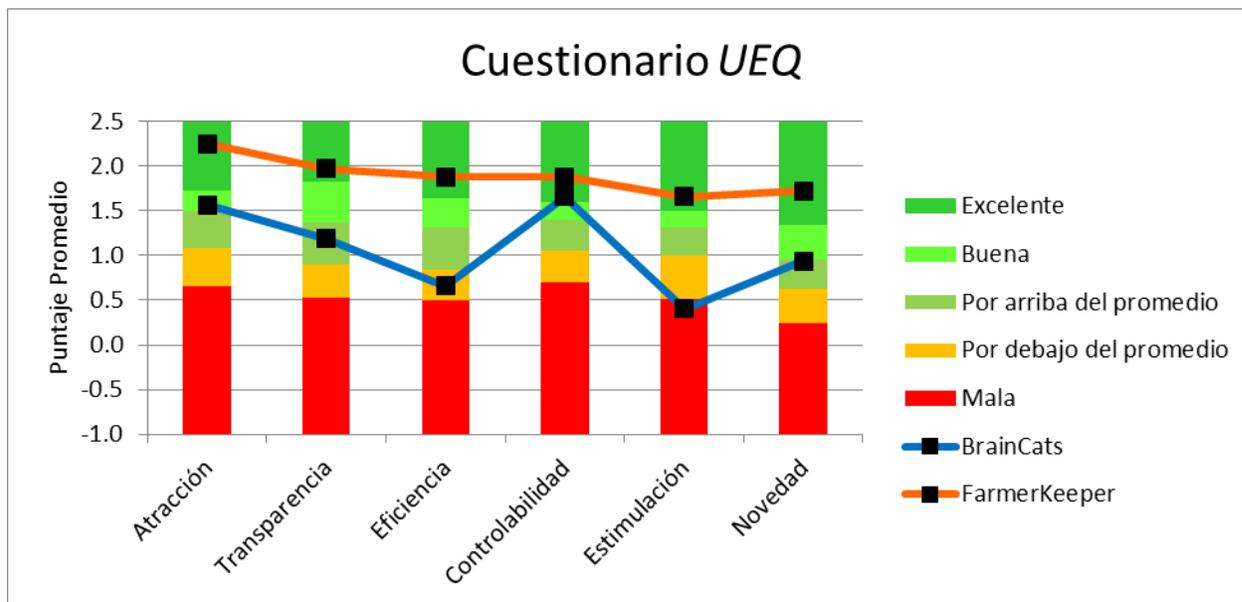


Figura 20. Resultados del cuestionario UEQ comparados con los datos de referencia del cuestionario.

4.2.1.2. Experiencia de juego de acuerdo al módulo núcleo del juego del cuestionario GEQ

Los resultados del módulo *núcleo del juego* del cuestionario *GEQ* (Ijsselsteijn et al., 2008) muestran que ambos video-juegos BCI, FarmerKeeper y BrainCats, proporcionan una experiencia de juego positiva y divertida. Encontramos el puntaje de FarmerKeeper solo un poco por arriba del puntaje de BrainCats (diferencia promedio = 0.38, Figura 21); con una diferencia significativa en la categoría de *flujo* (sentimientos de diversión que ocurren cuando las habilidades y los desafíos están balanceados, $p=0.0314$) y la categoría de *tensión/enojo* ($p=0.0420$). En las otras categorías no se encontró diferencia significativa (*competencia* $p=0.3184$, *inmersión imaginativa y sensorial* $p=0.2983$, *desafío* $p=1.00$, *emociones negativas* $p=0.1123$, y *emociones positivas* $p=0.1918$). Esta falta de diferencia significativa es de alguna manera esperada, ya que, por ejemplo, FarmerKeeper no proporciona una experiencia de competencia.

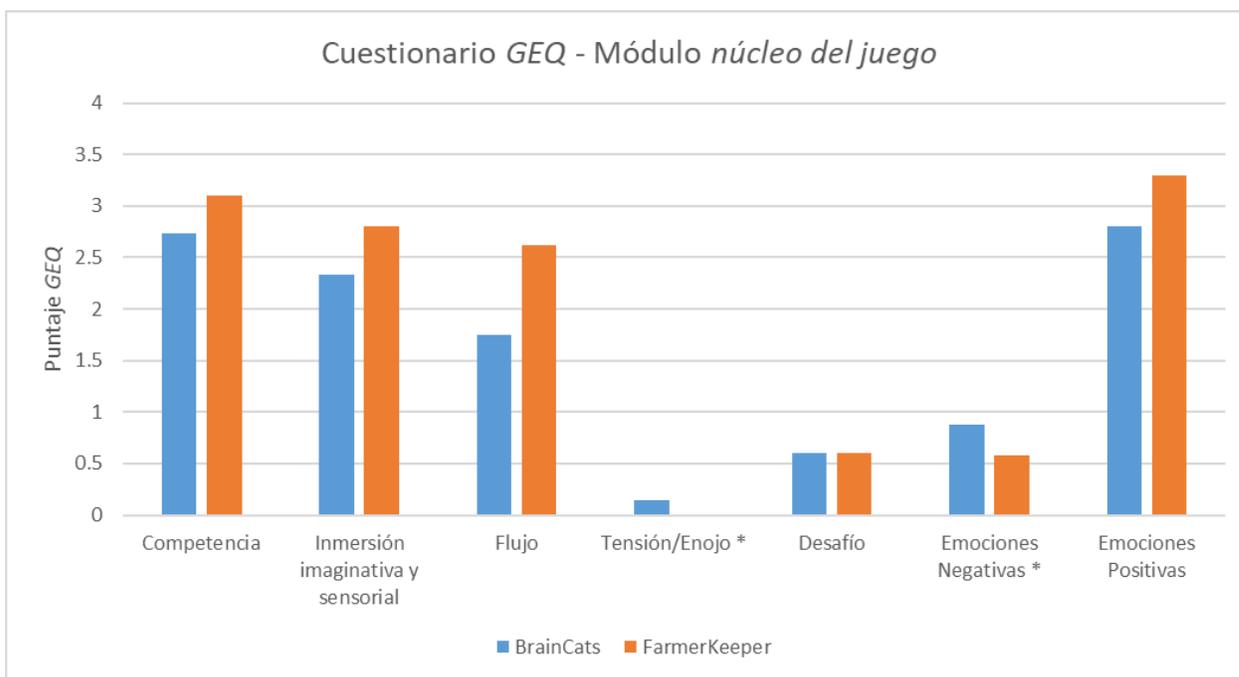


Figura 21. Resultados del módulo núcleo del juego del cuestionario GEQ. Los puntajes van de 0 a 4. (para * un puntaje menor es mejor).

Estos resultados podrían explicarse parcialmente utilizando el análisis de las entrevistas. Los maestros concuerdan en que ambos video-juegos BCI, FarmerKeeper y BrainCats, tienen efectos positivos en los participantes, y que cada video-juego BCI motiva y engancha a los participantes debido a razones diferentes (*e.g.*, FarmerKeeper por los gráficos y la temática, y BrainCats por su parte de competencia de intentar ser los primeros en llegar a la meta).

“... [En BrainCats, los participantes] estaban muy motivados en ser los primeros y ganar la carrera, y en FarmerKeeper, creo [los participantes estaban motivados por] los gráficos y la temática ...” [maestro 1]

Creemos que los pequeños efectos negativos (*i.e.*, las categorías de *tensión/enojo* y *emociones negativas*) pueden atribuirse a la interfaz gráfica de usuario, a la forma de interactuar con el video-juego, y a la duración de la última fase de *Actividad*. Ya que la forma de interactuar y controlar los video-juegos era mediante el dispositivo BCI, y los participantes están acostumbrados a tener algo en sus manos para interactuar con los video-juegos, por lo que algunas veces sentían que no estaban haciendo nada y comenzaban a aburrirse o desesperarse; especialmente cuando la fase de *Actividad* duraba mucho tiempo (*e.g.*, 5 min). Este comportamiento fue más común al utilizar BrainCats que al utilizar FarmerKeeper (Figura 21).

“... primero, como que [a los participantes] no les gustaba la manera de interactuar, la mayoría de ellos están acostumbrados a utilizar el iPad o los controles de consolas de video-juegos; por lo que están más cómodos cuando están sosteniendo algo en sus manos para interactuar con el video-juego...” [maestro 2]

4.2.1.3. Uso y adopción

Los resultados del cuestionario *FunSorter* (Read y MacFarlane, 2006), muestran que a 9 de 11 participantes les gusta más FarmerKeeper que BrainCats (2 de 11), y también, encontraron FarmerKeeper más divertido, fácil de usar, y atractivo, que BrainCats (Figura 22, “me gustó más” $p=0.0654$, “más divertido” $p=0.2265$, “más fácil de usar” $p=0.0654$, “más bonito” $p=0.2265$, y “prefiero recibir de regalo” $p=0.0654$).

De acuerdo a los maestros, los participantes a los que les gustó más BrainCats que FarmerKeeper disfrutaron el desafío competitivo que presentaba BrainCats y que no se encontraba en FarmerKeeper.

“... a él [un participante] le gusta más BrainCats, a él le gusta mucho jugar video-juegos, entonces creo que relacionó más el concepto de ganar, alcanzar la meta, y la parte competitiva [de BrainCats] ...” [maestro 1]

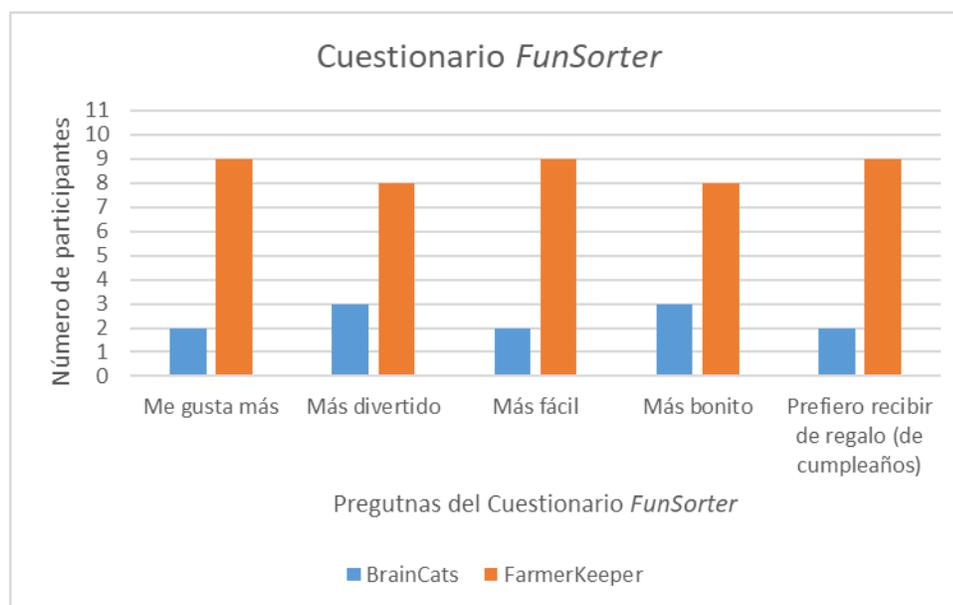


Figura 22. Resultados del cuestionario *FunSorter*.

Estos resultados se pueden complementar con los datos de la codificación de videos sobre la motivación y las emociones que presentaron los participantes al utilizar ambos video-juegos BCI (ver sección 4.1.4 para información sobre el análisis de los videos). Utilizando los datos de la codificación de videos, los resultados cuantitativos muestran que durante toda la sesión de neuroretroalimentación (duración promedio de la sesión completa = 13:05 min), en promedio los participantes estuvieron un 8% (2 min aprox., $p = 0.00288$) del tiempo más motivados al utilizar FarmerKeeper (97.15% de la sesión completa) que al utilizar BrainCats (89.15% de la sesión completa). Además, 11 de 12 participantes estuvieron más motivados en la sesión al utilizar FarmerKeeper y solo 1 de 12 participantes estuvo ligeramente más motivado (0.3%, participante 8) en la sesión al utilizar BrainCats (Figura 23).

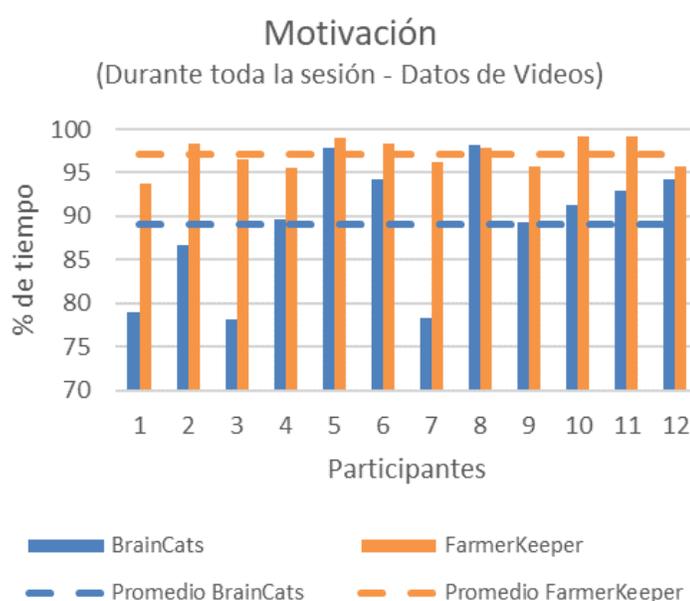


Figura 23. Porcentaje del tiempo de atención durante cada sesión de neuroretroalimentación, por participante. (Datos del análisis de la codificación de videos).

Los maestros atribuyen que los participantes estuvieron más motivados en FarmerKeeper que en BrainCats, al hecho de que FarmerKeeper fue percibido como más interactivo y con más cambios, en comparación con BrainCats, el cuál fue percibido como repetitivo y monótono, por lo que FarmerKeeper ofrecía una experiencia más divertida.

“... creo que a los participantes estuvieron más motivados con FarmerKeeper porque les gustó más, ya que era más interactivo, tenía más cambios, los estímulos eran más apropiados para los participantes, y la opción de elegir diferentes animales para buscar, en cambio BrainCats era muy repetitivo y monótono” ...
[maestro 8]

Y de acuerdo a los maestros y los registros de las sesiones, ninguno de los participantes mostró problemas de frustración al jugar FarmerKeeper. En contraste, al jugar con BrainCats, 3 de los 12 participantes se mostraron frustrados, aburridos, o no querían continuar o completar la actividad.

“... a los participantes les gustó más FarmerKeeper. Si les gustó jugar el primer juego [BrainCats], pero después de la primera carrera algunos se aburrían y no querían continuar jugando cuando la duración era larga. En cambio, en FarmerKeeper, querían seguir jugando más de una vez, podían jugarlo por más tiempo ...” [maestro 4]

También, utilizando los datos codificados de los videos, los resultados muestran que los participantes presentaron más emociones positivas (FarmerKeeper promedio = 6.33, BrainCats promedio = 3.17; diferencia promedio = 3.17, $p=0.18352$) y menos emociones negativas (FarmerKeeper promedio = 1.67, BrainCats promedio = 4.5; diferencia promedio = 2.8333, $p=0.00932$) durante toda la sesión al utilizar FarmerKeeper que al utilizar BrainCats (Figura 24). Atribuimos estos resultados al hecho de que en general los video-juegos para niños con autismo deben alentar las emociones positivas y no fortalecer las negativas (Southam-Gerow y Kendall, 2002), de esta manera, debido a nuestros valores de p podemos garantizar que FarmerKeeper incitará más emociones positivas al igual que BrainCats, pero sin incitar a emociones negativas.

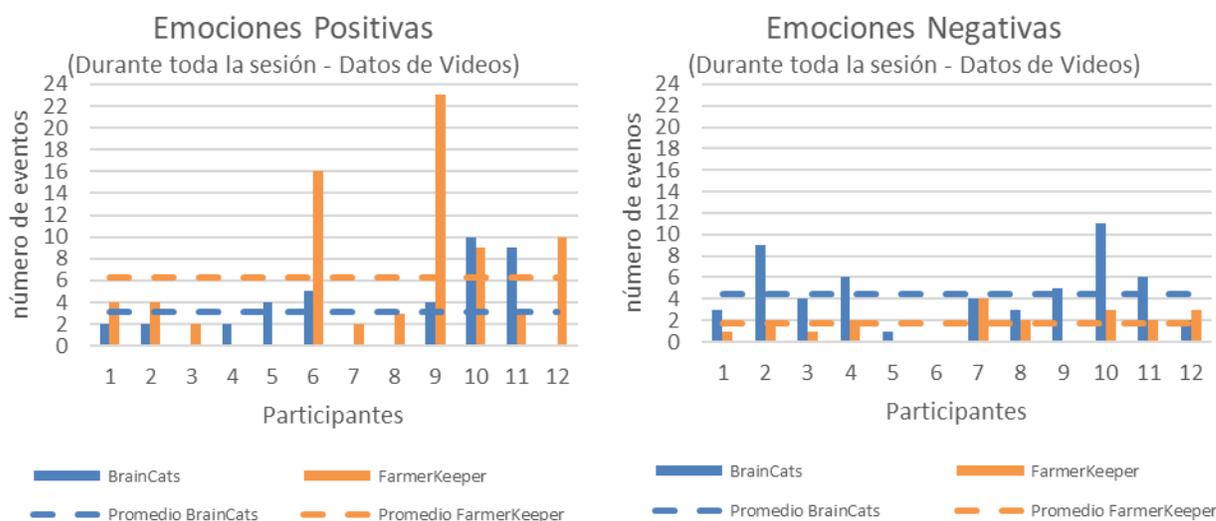


Figura 24. Emociones positivas (izquierda) y negativas (derecho) durante la sesión completa de neuroretroalimentación, por participante.

A la vez, utilizando los datos de la codificación de los videos, se analizaron las emociones que presentaban los participantes solo durante las fases de *Actividad* de las sesiones de neuroretroalimentación (e.g., 30 seg, 2 min, and 5 min), y se encontró un comportamiento similar en ambas condiciones sin diferencia significativa para las dos primeras fases de *Actividad* (i.e., las fases de *Actividad* de 30 seg. y 2 min). En cambio, para la última fase de *Actividad* (i.e., la fase de *Actividad* de 5 min.) los participantes mostraron más emociones positivas (diferencia promedio = 0.75, $p = 0.34495$) y menos emociones negativas (diferencia promedio = 2.416667, $p = 0.00672$) con FarmerKeeper que con BrainCats (Figura 25). Este resultado concuerda con el análisis de las emociones presentadas durante la sesión de neuroretroalimentación completa, resaltando que FarmerKeeper no incita emociones negativas, con un valor de p de 0.00672. las emociones negativas que presentaron los participantes al utilizar BrainCats están relacionadas a aburrimiento y frustración, la mayoría de ellas (81.5%) ocurrieron cuando la fase de *Actividad* comenzaba a ser más larga (e.g., 2 min. y 5 min.) y las otras (18.5%) ocurrieron entre las transiciones de fases.

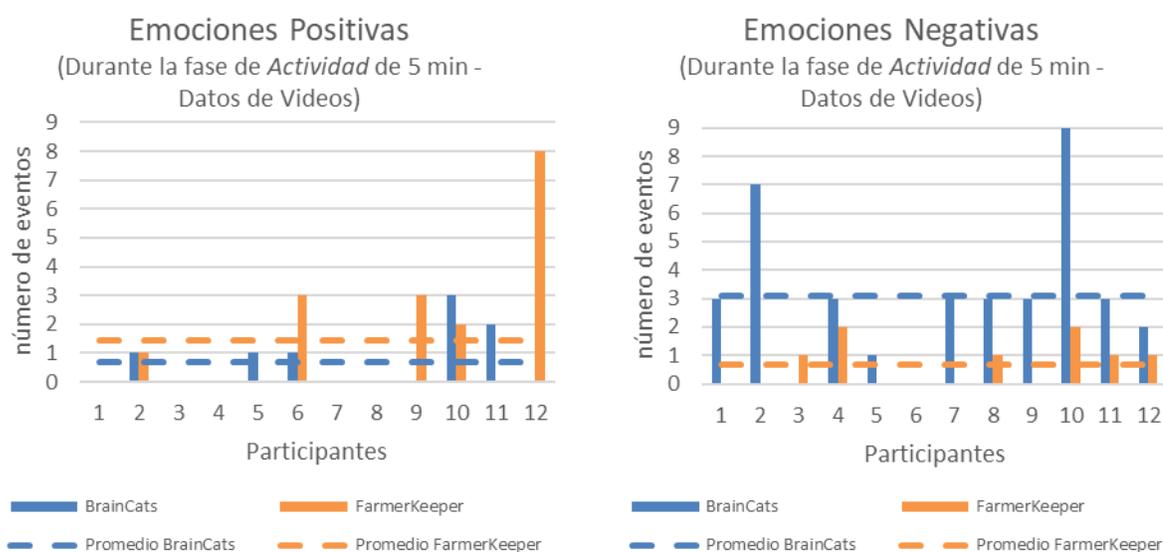


Figura 25. Emociones positivas (izquierda) y negativas (derecho) durante la última fase de *Actividad* de la sesión de neuroretroalimentación, por participante.

Por último, se realizó un análisis de los datos del sensor de seguimiento ocular para analizar como los estímulos de los video-juegos BCI influían en mantener enfocados en la actividad a los participantes. Los resultados de los datos del sensor de seguimiento ocular muestran que al utilizar FarmerKeeper los participantes estuvieron principalmente enfocados al centro de la pantalla (i.e., donde se muestra el personaje en el tractor y los animales, Figura 26, izquierda), lo que nos indica que la mayor parte del tiempo estaban enfocados en la actividad. Mientras que el mapa de calor promedio al utilizar BrainCats muestra que los participantes se enfocaban en diversas áreas de la pantalla fuera de la trayectoria de su leopardo,

distrayéndose con otros estímulos (*e.g.*, los trofeos de animales) que competían por la atención del participante (Figura 26, derecha). De acuerdo a algunos maestros, cuando estos estímulos en la pantalla hacían que el participante perdiera el enfoque y comenzaba a estar disperso, en algunos casos, el participante podía perder fácilmente el objetivo del video-juego y por lo tanto también el interés y motivación en continuar con la sesión.



Figura 26. Resultados de los datos del sensor de seguimiento ocular. Imagen de los mapas de calor promediados de todos los participantes de FarmerKeeper (izquierda) y BrainCats (derecha) con un filtro de suavizado de 20%.

4.3 Resumen y conclusiones

Este capítulo se describe la evaluación formativa de FarmerKeeper. Durante la evaluación formativa se realizó un estudio intra-sujetos en el centro psicopedagógico Pasitos, donde participaron 12 niños con autismo, 8 maestros/psicólogos de pasitos, y 1 terapeuta en neuroretroalimentación. Este estudio se realizó para evaluar la usabilidad y experiencia de uso de FarmerKeeper, así como para encontrar y entender los beneficios potenciales que ofrece FarmerKeeper; principalmente beneficios referentes a ayudar a mejorar la atención de los niños con autismo. Estos resultados se compararon con los resultados del uso de BrainCats, un video-juego BCI comúnmente utilizado en clínicas especializadas de neuroretroalimentación.

El estudio consistió de 3 etapas: un proceso de sensibilización, 2 sesiones de neuroretroalimentación, y la evaluación de las sesiones. El proceso de sensibilización consistió en que los participantes utilizaran un prototipo simulando el dispositivo BCI, para irse acostumbrando gradualmente a utilizarla. Todos los niños asistieron a dos sesiones de neuroretroalimentación (*i.e.*, una sesión de neuroretroalimentación por cada video-juego BCI). Al terminar cada sesión, los maestros contestaron el módulo *núcleo del juego* del Cuestionario de Experiencia de Juego (*GEQ*, por sus siglas en inglés *Game Experience Questionnaire*

(IJsselsteijn et al., 2008)) para evaluar la experiencia de juego de acuerdo al comportamiento de cada participante durante las sesiones.

Después de que los participantes completaron las dos sesiones de neuroretroalimentación se realizó la evaluación de las sesiones. Los participantes respondieron el cuestionario *FunSorter* (Read y MacFarlane, 2006) para evaluar sus preferencias por un video-juego BCI y los maestros contestaron el cuestionario “Escala de Usabilidad del Sistema” (*SUS*, por sus siglas en inglés *System Usability Scale*) (Brooke, 2013) y el cuestionario de Experiencia de Usuario (*UEQ*, por sus siglas en inglés *User Experience Questionnaire*) (Rauschenberger et al., 2013) por cada condición. También, al final se entrevistó a los maestros para comparar ambas condiciones, y obtener sus opiniones y retroalimentación acerca de los video-juegos BCI.

Los resultados sugieren que los participantes y maestros encontraron a FarmerKeeper más divertido, fácil de usar, y atractivo que BrainCats. Los maestros percibieron una experiencia de juego positiva y agradable en ambos video-juegos BCI. Sin embargo, los participantes estaban más motivados y mostraron más emociones positivas y menos emociones negativas al utilizar FarmerKeeper que con BrainCats. Además, los maestros estuvieron de acuerdo en que ambos video-juegos BCI podrían tener beneficios potenciales para mejorar los problemas de atención, ya que los mantenían motivados y enfocados. Y particularmente, los maestros identificaron que los niños con autismo estaban menos ansiosos, seguían de mejor manera las reglas, y mejoraban su comportamiento al realizar transiciones entre actividades al utilizar FarmerKeeper. Estos resultados sugieren que FarmerKeeper podría ser más adecuado para apoyar sesiones de neuroretroalimentación que BrainCats.

Capítulo 5. Evaluación sumativa

En este capítulo se presenta la evaluación sumativa de FarmerKeeper realizada en el centro psicopedagógico Pasitos, A.C., en la ciudad de Tijuana, B.C. La evaluación sumativa compara la eficacia de FarmerKeeper con el uso de Caricaturas al utilizarlos como apoyo en sesiones de entrenamiento de neuroretroalimentación para niños con autismo.

El objetivo de esta evaluación es el siguiente:

- Evaluar la eficacia de FarmerKeeper como una herramienta de apoyo para las sesiones de neuroretroalimentación enfocadas en los problemas atención de los niños con autismo, en comparación con sesiones de neuroretroalimentación tradicionales.

Para las sesiones de neuroretroalimentación tradicional se eligió el uso de Caricaturas, ya que es un método utilizado comúnmente en clínicas especializadas (Hammond, 2011). Las caricaturas que se eligieron fueron episodios de *“Untalkative Bunny”* (Figura 27, derecha) por tener una animación y manejo de trama sencillas, utilizar colores llamativos y música de fondo similares a los que se utilizan en FarmerKeeper (Figura 27, izquierda). Además, los episodios de *“Untalkative Bunny”* que se seleccionaron para el estudio no cuentan con diálogos para incrementar la posibilidad de que las caricaturas puedan ser más comprensibles para los niños con autismo.



Figura 27. Capturas de pantalla de FarmerKeeper (izquierda) y Caricaturas *“Untalkative Bunny”* (derecha), condiciones usadas durante las sesiones de neuroretroalimentación.

5.1 Métodos

Para la evaluación sumativa de FarmerKeeper, se realizó un estudio entre-sujetos (*i.e.*, cada participante solo perteneció a un grupo y utilizó solo una condición) en Pasitos⁷. En el estudio participaron 26 niños con autismo, asistiendo a 13 sesiones de neuroretroalimentación. Los participantes se dividieron de manera aleatoria en dos grupos: grupo experimental (13 niños) y grupo de control (13 niños). En el grupo experimental los niños realizaron las sesiones de neuroretroalimentación usando FarmerKeeper (*i.e.*, condición FarmerKeeper, (Figura 15 - izquierda), mientras que en el grupo de control los niños realizaron las sesiones de neuroretroalimentación usando las Caricaturas (*i.e.*, condición Caricaturas, c). En ambos grupos se aplicaron pruebas de atención (*i.e.*, CRSD-ant (Weaver et al., 2013) y TDAH-P (Gilliam, 1995)) para evaluar la eficacia de las sesiones a través de mediciones pre-condición y post-condición.

5.1.1 Participantes

En este estudio participaron 26 niños con autismo⁸ de Pasitos. Los participantes tenían entre 4 y 13 años de edad (media = 8 años; $\sigma = 3.05$) cuando se hizo el estudio. La mayoría de los participantes eran no verbales, con problemas de atención e hipersensibilidad. Ninguno de ellos participó anteriormente en la evaluación formativa, y ninguno seguía un tratamiento farmacológico o había tomado sesiones de entrenamiento de neuroretroalimentación antes de este estudio. Dos terapeutas en neuroretroalimentación realizaron las sesiones de todos los participantes. Además, 10 maestros entraron a ciertas sesiones para observar el desarrollo y comportamiento de los niños durante las sesiones de neuroretroalimentación, y poder contestar una entrevista al final del estudio. Todos los terapeutas en neuroretroalimentación, todos los maestros, y todos los padres a nombre de los niños llenaron por escrito un formato donde dieron su consentimiento de participación voluntaria (ver ejemplo en Anexo 1).

⁷ Un centro psicopedagógico localizado en Tijuana, México donde 18 maestros/psicólogos atienden cerca de 60 niños con autismo.

⁸ Por simplicidad de lectura, nos referiremos como *participantes* a los niños con autismo que participaron en el estudio.

5.1.2 Instalación

Para llevar a cabo el estudio se equiparon dos cuartos de terapia de Pasitos, con dimensiones de 1.83m x 3.65m. En ambos cuartos se colocó una mesa con una computadora de escritorio para el terapeuta en neuroretroalimentación y un segundo monitor donde se mostraba la retroalimentación al participante (*i.e.*, FarmerKeeper o Caricaturas). Además, en ambos cuartos se colocó una video cámara (vista frontal-lateral) para grabar las interacciones y comportamientos de los participantes. Durante las sesiones de neuroretroalimentación todos los participantes utilizaron el dispositivo BCI MindWave de Neurosky. Para evitar distractores, se retiraron todos los estímulos sensoriales en los cuartos, como muebles, cuadros, o soportes visuales (Figura 28).



Figura 28. Una foto de las sesiones de neuroretroalimentación, mostrando la instalación del hardware para el estudio en un cuarto de terapia de Pasitos.

5.1.3 Procedimiento

Los 26 participantes se asignaron de manera aleatoria a dos grupos de igual tamaño (*i.e.*, al grupo experimental y al grupo de control). El grupo experimental de 13 participantes utilizó FarmerKeeper (Figura 27, izquierda), y el grupo de control, con otros 13 participantes utilizaron Caricaturas (Figura 27, derecha), durante 13 sesiones de entrenamiento de neuroretroalimentación.

El estudio consistió de 4 etapas: proceso de sensibilización, pruebas pre-condición, sesiones de neuroretroalimentación, y pruebas post-condición y entrevista (Figura 29).



Figura 29. Procedimiento del estudio de la evaluación sumativa.

5.1.3.1 Proceso de sensibilización

Ya que la mayoría de los participantes no aceptan fácilmente el uso de accesorios colocados en su cabeza, se realizó un proceso de sensibilización para que los participantes se acostumbraran a usar algo similar al dispositivo MindWave. Este proceso de sensibilización fue similar al proceso de sensibilización de la evaluación anterior (Mercado et al., 2018). Durante este proceso, se les pidió a los participantes utilizar un prototipo que consistía en un par de diademas ensambladas de tal forma que simularan el dispositivo BCI MindWave, con un botón metálico simulando el electrodo en la frente y un clip simulando el clip del lóbulo de la oreja del dispositivo BCI (Figura 29.a). Los participantes usaron el prototipo del dispositivo BCI durante sus actividades diarias en Pasitos antes de comenzar a asistir a las sesiones de neuroretroalimentación. Este proceso duró una semana, y el tiempo de uso del prototipo del dispositivo BCI fue variable, de acuerdo a la tolerancia de cada participante.

5.1.3.2 Pruebas pre-condición

Al inicio del estudio, los maestros titulares de cada participante contestaron la prueba TDAH-P para cada participante y fue entregada a los encargados del estudio (ver 5.1.4. Recolección de datos para más detalles de las pruebas). Cada participante asistió a una sesión individual de aprox. 13 min. para realizar la prueba de atención CRSD-ant en una computadora de escritorio (Figura 29.b).

5.1.3.3 Sesiones de Neuroretroalimentación

Los participantes completaron 13 sesiones de neuroretroalimentación usando solo Caricaturas o FarmerKeeper, según el grupo en el que se encontraban (Figura 29.c). Una sesión de neuroretroalimentación consistió en:

Primero el terapeuta presentaba el objetivo de la sesión al participante. En el caso de FarmerKeeper, los participantes veían la historia del juego, mientras que, en el caso de las Caricaturas, los participantes veían un video con la introducción general utilizada en las caricaturas seleccionadas. Luego, por unos 2 minutos aprox., los participantes realizaban la fase de relajación, con el objetivo de que el niño permaneciera lo más quieto posible y permitir al terapeuta colocar el dispositivo BCI para continuar con la sesión (*e.g.*, fase de relajación). Después, los participantes de FarmerKeeper seleccionaban y personalizaban al jugador, y realizaban 3 fases de actividad de 4 min c/u, con una fase de descanso entre cada actividad de entre 1-2 min c/u aprox., eligiendo el tipo de animal que quieren buscar para cada fase de actividad. Por otro lado, los participantes de Caricaturas también realizaron 3 fases de actividad que consistieron en ver 3 episodios de caricaturas de 4 min c/u, con una fase de descanso entre cada actividad y eligiendo ellos el episodio que quieren ver de una lista de episodios disponibles.

5.1.3.4 Pruebas post-condición

Al final del estudio, después de las 13 sesiones de neuroretroalimentación, los maestros titulares de cada participante contestaron nuevamente la prueba TDAH-P para cada participante y las entregaron a los encargados del estudio. También, cada participante asistió a una segunda sesión individual de aprox. 13 min. para realizar nuevamente la prueba de atención CRSD-ant (Figura 29.d).

Por último, se aplicó una entrevista-semiestructurada a los maestros participantes con el objetivo de obtener más información acerca de sus opiniones y retroalimentación. En cada entrevista participó el maestro titular de cada grupo escolar de Pasitos y en algunos casos también participó el maestro asistente (para los grupos escolares donde había mayor número de participantes). Todos los maestros que participaron en las entrevistas acompañaron a los participantes durante algunas sesiones de neuroretroalimentación.

5.1.4 Recolección de datos

Para la recolección de datos se realizaron 2 pruebas de atención (*i.e.*, CRSD-ant (Weaver et al., 2013) y TDAH-P (Gilliam, 1995)) como mediciones pre y post-condición. La prueba CRSD-ant (Weaver et al., 2013) para medir atención sostenida fue realizada por cada participante y la prueba TDAH-P (Gilliam, 1995) para medir atención fue contestada por los maestros de cada participante (una por participante). Se video-grabaron las sesiones y se grabaron los datos sensados por el dispositivo BCI durante las fases de actividad de todas las sesiones, a la vez los terapeutas grabaron registros sobre el comportamiento de los participantes. Al final del estudio se realizó una entrevista semiestructurada a los maestros que participaron durante el estudio.

5.1.4.1. Mediciones durante las sesiones

Durante todas las sesiones, los terapeutas escribieron registros de los comportamientos de los participantes. También, todas las sesiones se video-grabaron con una video cámara con vista frontal-lateral para recabar información del comportamiento de los participantes y complementar los registros de los terapeutas.

Durante todas las sesiones se grabaron los datos sensados por el dispositivo BCI MindWave durante las fases de actividad de las sesiones. El dispositivo BCI MindWave tiene en su interior el chip ThinkGear, que implementa el algoritmo propietario eSense que da un valor de atención en una escala de 0 a 100 a una frecuencia de 1 Hz (*i.e.*, 1 muestra por segundo). Además, según el valor de atención en esta escala, la atención se puede clasificar en 5 categorías:

- 0-20: muy mala atención.
- 20-40: mala atención.
- 40-60: atención normal.
- 60-80: buena atención.
- 80-100: muy buena atención.

5.1.4.2. Pruebas de atención

5.1.4.2.1. CRSD-ant

La prueba CRSD-ant (Weaver et al., 2013) es una versión adaptada de la prueba ANT (Fan et al., 2002) con una duración de 10 minutos. La prueba ANT es una prueba de 30 minutos creada para estudiar las tres redes que forman el sistema atencional: alerta, orientación y atención ejecutiva, basadas en el modelo atencional de Posner (Posner y Petersen, 1990). La prueba se utiliza para evaluar problemas de atención en individuos con TDAH, esquizofrenia, lesiones o derrames cerebrales, entre otros (Fan et al., 2002). Ambas pruebas (*i.e.*, CRSD-ant y ANT) consisten en responder a la dirección que apunta un objeto objetivo (Figura 30) en el centro rodeado por otros objetos usados como distractores que pueden apuntar en la misma dirección o en dirección contraria. El participante es instruido para responder lo más rápido posible presionando las teclas izquierda/derecha del teclado según la dirección indicada del objeto objetivo.

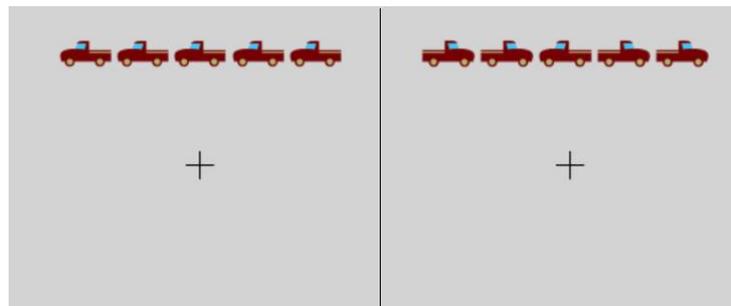


Figura 30. Ejemplos de ensayos de la prueba CRSD-ant. Objeto objetivo con distractores en la misma dirección (izquierda) Y objeto objetivo con distractores en dirección contraria (derecha).

La prueba CRSD-ant está implementada en HTML y javascript, y su código fuente está disponible en la página web del centro de investigación CRSD⁹ para descarga y uso de la prueba. Se compone de 3 fases:

1. *Instrucciones*: se muestran las instrucciones al participante por medio de pantallas estáticas que cambian solo cuando la persona que aplica la prueba lo indica. En las instrucciones se presentan al participante los diferentes casos que podrían salir en la prueba. Estas instrucciones se pueden visitar las veces que se consideren necesarias.
2. *Etapa de prueba (2 min)*: esta etapa es una reducción de la etapa principal de la prueba (etapa 3). En esta etapa cada ensayo (ítem) va cambiando automáticamente en un determinado tiempo. Se utiliza para ver que el participante haya comprendido lo que tiene que hacer, por lo que durante esta etapa se pueden dar instrucciones y ayudas/refuerzos verbales.
3. *Etapa de bloques de ensayos*: corresponde a dos bloques de ensayos, cada bloque con una duración de 4 min y componen la parte principal de la prueba. Durante esta etapa se debe evitar dar instrucciones y ayudas/refuerzos verbales.

Al finalizar la prueba los resultados se calculan automáticamente por el sistema y se presentan dos archivos con los resultados de la prueba, mostrando resultados globales y resultados por cada una de las partes del sistema atencional.

En este estudio se toman los valores de la red atencional de alerta, que corresponde a lo que se conoce también como atención sostenida en otros modelos (*i.e.*, la habilidad de permanecer concentrado en una actividad durante un cierto tiempo).

Se eligió esta prueba ya que es una prueba objetiva al ser contestada por el participante. Además de ser una prueba donde se pueden evaluar diferentes tipos de atención de manera más específica.

Para la aplicación de la prueba CRSD-ant se hicieron pequeñas modificaciones para adecuarla a los niños con autismo (Figura 31), ya que un estudio piloto realizado, vimos que la mayoría de los participantes tenían problemas motrices finos que les dificulta el uso del teclado o mouse de una PC tradicional. Se implementó un control con dos botones como interfaz de entrada (Figura 31, derecha), con el objetivo de darles una interfaz más sencilla y comprensible, así como evitar distractores. Además, para los objetos

⁹ Página web de descarga de la prueba CRSD-ant: <https://www.lakeheadu.ca/centre/crsd/downloads>

mostrados en la prueba se seleccionó un cochito viendo hacia una manzana de un color correspondiente a los colores de la interfaz de entrada, para que los niños más pequeños pudieran asociar mejor las direcciones con los colores (Figura 31, izquierda).

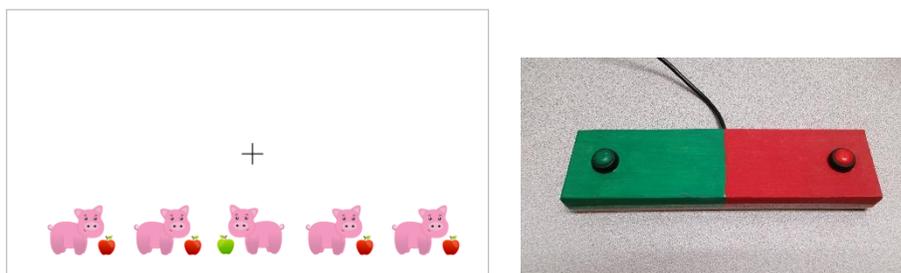


Figura 31. Modificaciones a la prueba CRSD-ant para adecuarla a los niños con autismo del estudio. Ejemplo del objeto objetivo con distractores en dirección contraria (izquierda) e interfaz de entrada utilizada para realizar la prueba (derecha).

5.1.4.2.1. TDAH-P

El cuestionario TDAH-P (Gilliam, 1995) es una prueba diagnóstica normalizada para la identificación de niños y jóvenes de 3 a 23 años de edad con desórdenes de atención e hiperactividad. Tiene un total de 36 elementos y está basada en la definición de TDAH (Trastorno de Déficit de Atención e Hiperactividad) del DSM-IV (Ibor et al., 2001). Comprende tres sub-pruebas: hiperactividad (13 elementos), impulsividad (10 elementos) e inatención (13 elementos). Cada elemento del cuestionario se contesta en una escala Likert de 3 puntos, basándose en la gravedad de los problemas del comportamiento evaluado (0=sin problema, 1=problema leve, 2=problema grave). Esta prueba está diseñada para ser contestada por maestros, padres u otros que conozcan bien el comportamiento del niño, y la administración de la prueba tiene una duración máxima de entre 5-10 min.

Es una prueba normalizada sobre 1279 niños y jóvenes con TDAH. El manual de la prueba proporciona una guía para calcular puntuaciones estandarizadas (con media=10 y $\sigma=3$) a partir de las puntuaciones brutas, para permitir la comparación con la muestra normativa. A partir de las puntuaciones estándares de cada sub-prueba se puede obtener un coeficiente general de TDAH (con media=100, $\sigma=15$). Un puntaje bajo es interpretado como un indicador de baja severidad de síntomas de TDAH, y un puntaje alto como alta severidad.

En este estudio solo se utilizó la sub-prueba de inatención (Anexo 6), ya que se quiere medir atención y el diseño e implementación de FarmerKeeper están basados en disminuir los problemas de atención. Para el caso de la sub-prueba de inatención la puntuación estándar va de 1 a 15 puntos (con una media $=10$ y $\sigma =3$). Un puntaje bajo es interpretado como baja severidad en problemas de atención y un puntaje alto como alta severidad en problemas de atención. Esta sub-prueba da un conocimiento de los problemas de inatención en general, ya que se basa en el DSM-IV, no divide o especifica subtipos de atención (*i.e.*, atención selectiva, atención sostenida, etc...), y las preguntas que se responden corresponden a actividades de la vida diaria.

Se eligió esta prueba para probar si las intervenciones tienen un impacto positivo en las actividades diarias de los participantes. Además de ser una prueba utilizada en el centro psicopedagógico Pasitos, por lo cual los maestros ya tenían conocimiento y experiencia de cómo aplicarla.

5.1.4.3. Entrevista

Se realizó una entrevista semiestructurada para conocer la perspectiva de los maestros sobre la intervención y recabar información adicional de los participantes, como mejoras en la atención u otros cambios en los comportamientos de los participantes durante las actividades de la intervención y las actividades diarias, y obtener datos cualitativos que puedan ayudar a explicar mejor los resultados del estudio. Así como detectar otros posibles impactos que pudieran ser generados por la intervención fuera de los planteados. Todas las entrevistas ($n=6$) fueron audio-grabadas y transcritas para su posterior análisis. La duración total de todas las entrevistas fue de 2:24:22 hrs. (promedio = 24:04 min, $ds = 5:02$ min).

5.1.5 Análisis de datos

Primero, se eliminaron los datos que incluían mucho ruido debido a movimientos inapropiados del cuerpo y expresiones faciales. También, se eliminaron aquellos participantes que no completaron las 13 sesiones. Como resultado, se eliminaron 3 participantes, dos del grupo control (Caricaturas) y uno del grupo experimental (FarmerKeeper). Quedando para el análisis 11 participantes en la condición de Caricaturas y 12 participantes en la condición de FarmerKeeper.

Para todos los datos, y aunque la muestra era pequeña, se realizaron pruebas estadísticas como un primer paso para probar la significancia de los resultados entre ambas condiciones. Para todos los datos se aplicó la prueba de normalidad Shapiro-Wilk (Shapiro y Wilk, 1965) para conocer si los datos eran paramétricos o no paramétricos. Como resultado de la prueba de normalidad se obtuvo que los datos de las pruebas de atención y los datos sensados por el dispositivo BCI eran no paramétricos, por lo que se utilizó la prueba U de Mann-Whitney (Mann y Whitney, 1947) para todos los datos. Se definió un valor de confianza de $\alpha = 0.05$ (i.e., los resultados tienen significancia para una $p \leq 0.05$) para todas las pruebas estadísticas.

5.1.5.1 Mediciones durante las sesiones

De los datos EEG grabados mediante el dispositivo BCI, se extrajeron los datos de atención para cada fase de actividad de cada sesión, por participante, por condición.

Para medir la eficacia de la intervención, se busca encontrar tres métricas:

1. **Atención:** que el nivel de atención del participante durante las sesiones se encuentre el mayor tiempo posible por arriba de un umbral, sin importar si es consecutivo o no (atención ≥ 40 , en la escala de 0 a 100 del algoritmo eSense mencionada anteriormente, para ambas condiciones).
2. **Control de la atención:** que el número de cambios entre el valor al umbral sean los menos posible.
3. **Atención sostenida:** que el participante pueda mantener su nivel de atención por arriba del umbral por un período de tiempo igual o mayor a una cierta cantidad de tiempo. Este período de tiempo se conoce como “*bloque de atención (attention span)*”.

Para analizar cada una de las métricas se realizó lo siguiente por cada participante:

Primero, utilizando los datos de atención se creó un vector binario, por participante, asignando 1 a los períodos de tiempo donde el valor de atención del participante era igual o mayor a 40 unidades (el umbral predefinido durante el estudio), y se asignó 0 en el caso contrario – significando que el participante estaba distraído y su valor de atención era menor a las 40 unidades.

Después, utilizando este vector binario, se realizó lo siguiente para cada una de las métricas:

- **Atención:** se calculó el *porcentaje promedio de tiempo* que el valor de atención era igual a 1 (*i.e.* el valor de atención era \leq al valor del umbral), por participante, por condición.
- **Control de la atención:** se calculó el número de cambios entre un valor de *no atención* y un valor de *atención* durante las fases de actividad de cada sesión y se calculó el valor promedio por participante por condición.
- **Atención sostenida:** se calculó la duración de los *bloques de atención* (*i.e.*, segundos consecutivos de valores de atención) por sesión, y se calculó la duración promedio de los *bloques de atención* por participante por condición.

5.1.5.2 Pruebas de atención

Se utilizó el software de la prueba CRSD-ant¹⁰ para calcular automáticamente los puntajes por participante. Se tomaron solo los resultados de la red atencional de alerta, que corresponde a atención sostenida.

Para el cuestionario TDAH-P se calcularon las puntuaciones brutas y las puntuaciones estándar de acuerdo a las métricas especificadas en el manual del cuestionario. Se tomaron solo los resultados de la sub-prueba de inatención, ya que es la condición donde se quiere medir el efecto de utilizar las sesiones de neuroretroalimentación.

Para ambas pruebas, se utilizaron los puntajes pre-condición y post-condición de cada participante para calcular la diferencia y conocer el cambio que hubo en el participante después de realizar la intervención.

5.1.5.3 Entrevista

Para analizar los datos cualitativos de las entrevistas, se utilizó un enfoque de análisis deductivo para examinar cómo los comportamientos y percepciones refuerzan o contradicen los resultados de los datos cuantitativos. Adicionalmente, se utilizó un enfoque inductivo para un análisis por temas de nuestros datos. Para apoyar el análisis inductivo, se siguió un enfoque cualitativo incluyendo el uso de técnicas derivadas de teoría fundamentada (Strauss y Corbin, 1998) y diagrama de afinidad (Beyer y Holtzblatt,

¹⁰ Software de la prueba CRSD-ant: <https://github.com/dockstaderluke/CRSD-ANT>

1999) (*e.g.*, codificación abierta y axial (Strauss y Corbin, 1998)). Usando estas técnicas, las citas y/o eventos obtenidos de las entrevistas se agruparon para buscar temas emergentes relacionados a la mejora de atención, control atencional, y atención sostenida derivados del entrenamiento de Neuroretroalimentación. Se utilizó atlas.ti (Friese, 2014) para nuestro análisis de datos cualitativos.

5.2 Resultados

En esta sección se muestran los resultados que se obtuvieron del análisis de los datos. En general, nuestros resultados de los datos EEG, entrevistas y puntajes de las pruebas psicométricas de atención, muestran que los participantes que usaron FarmerKeeper mostraron una mejora ligeramente mayor en atención, estuvieron menos dispersos, y lograron una mejor atención sostenida (*i.e.*, bloques de atención), comparados con los participantes que usaron Caricaturas. Primero, se presentan los resultados de la atención de los participantes. Seguidos de los resultados del control atencional y de atención sostenida de los participantes. Y finalmente, se muestra un análisis de casos, donde se puede ver lo sucedido en algunos casos específicos (*i.e.*, el mejor caso, un caso promedio y el peor caso) por cada condición.

5.2.1 Atención

Los resultados del análisis de los datos de atención sensados con el dispositivo BCI muestran que en promedio los participantes de ambas condiciones lograron un nivel de atención igual o mayor al umbral alrededor del 70% del tiempo total de las sesiones (FarmerKeeper = 71.64%, Figura 32 izquierda-abajo, y Caricaturas = 68.73%, Figura 32 izquierda-arriba). Existe una ligera diferencia casi del 3% ($p = 0.25$), lo que nos sugiere que los participantes que utilizaron FarmerKeeper tuvieron un mejor desempeño que los que utilizaron Caricaturas. El tiempo promedio en el que el valor de atención de los participantes de FarmerKeeper estuvo arriba del umbral fue de 21 segundos más que el alcanzado por los participantes de Caricaturas (de un total de 720 segundos de las fases de actividad de la sesión). Además, 9 de 12 participantes de FarmerKeeper lograron estar un porcentaje de tiempo atentos igual o más alto al promedio de la condición de Caricaturas ($\geq 68.73\%$, Figura 32 derecha), mientras que el porcentaje de tiempo que 8 de 11 participantes de Caricaturas lograban estar atentos era igual o por debajo del promedio alcanzado por los participantes de FarmerKeeper ($\leq 71.64\%$, Figura 32 derecha). Estos resultados nos

sugieren que los participantes de la condición de FarmerKeeper pudieron lograr ligeramente una mejor atención durante las sesiones de neuroretroalimentación que los participantes de la condición de Caricaturas. Este resultado puede atribuirse a que por parte de los participantes que utilizaron FarmerKeeper existe un mejor entendimiento del objetivo (*i.e.*, ayudar al granjero a encontrar los animales de la granja), ya que el objetivo era más claro, en comparación a las Caricaturas. El tener un objetivo más claro impacta en la motivación de los participantes, ya que estaban más concentrados, al entender que entre mejor se desempeñaran (*i.e.*, entre mayor atención pusieran) iban a encontrar más animales, y ver que encontraban muchos animales lo percibían como un logro o un premio para ellos. En cambio, los participantes de caricaturas no realizaban mucho esfuerzo para estar arriba del umbral o mejorar, ya que igual ellos seguían viendo la caricatura, y la mayor parte del tiempo aparentemente no les importaba si se escuchaba o no el sonido.

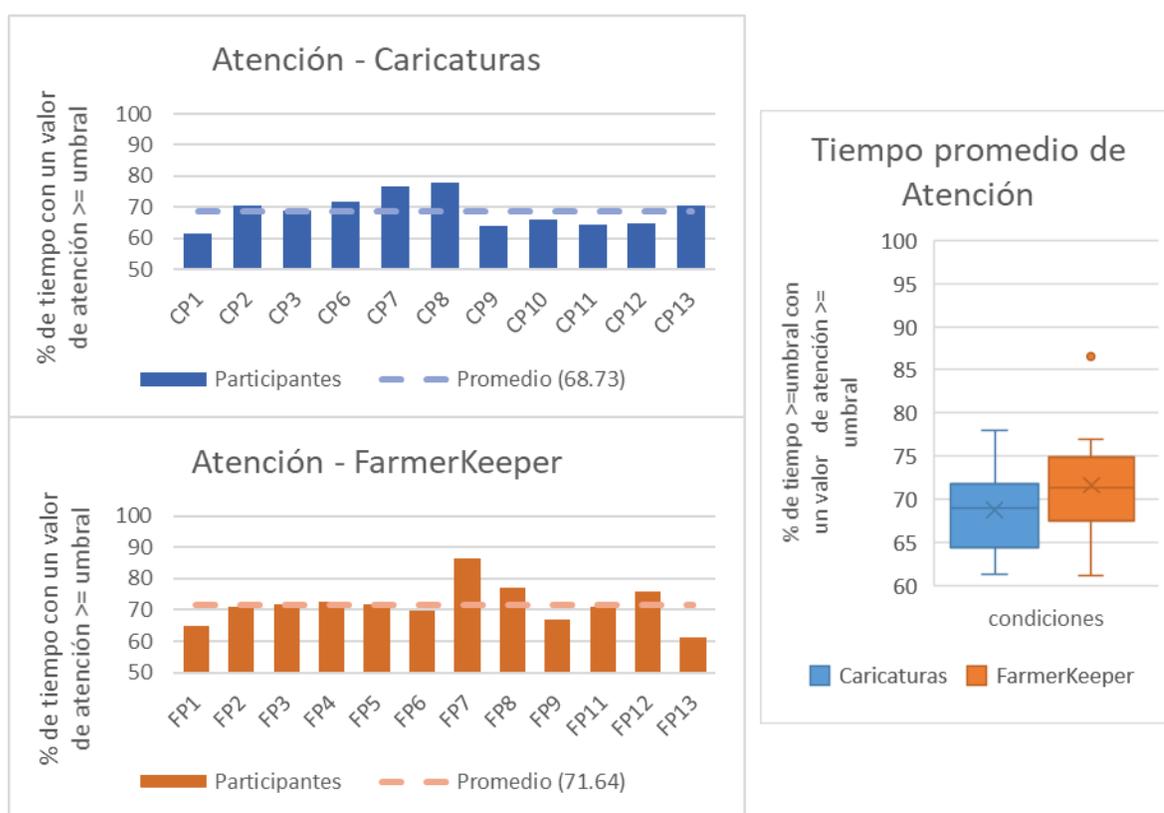


Figura 32. Promedio del porcentaje del tiempo total durante el cual el valor de atención de los participantes era mayor o igual al umbral predefinido de 40. Participantes de la condición de Caricaturas (izquierda arriba) y de FarmerKeeper (izquierda abajo). Comparación del tiempo promedio de atención entre los participantes de ambas condiciones (derecha).

Durante las entrevistas, todos los maestros (10 de 10) coincidieron en que FarmerKeeper era más motivante para los participantes y comentaron que percibieron que el objetivo de FarmerKeeper era más

claro que en las sesiones de Caricaturas. Y corroboraron nuestros resultados cuantitativos explicando que el tener un objetivo más claro ayudaba de mejor manera a la atención del participante.

“En el de la granja [FarmerKeeper] el niño está viendo que al poner atención va avanzando más rápido, es más fácil para el niño que se dé cuenta de lo que está haciendo que en lo de las caricaturas, en las caricaturas si se escuchaba o no se escuchaba les daba igual, porque a ellos lo que les interesaba era que siguiera la caricatura, no les importaba tanto el volumen.” (Maestro 2)

“Las caricaturas siempre veían las mismas o casi las mismas, y conforme se las van aprendiendo les deja de producir interés entonces puede ser una de las cosas de porque ponen menos atención o más atención. Y también como las caricaturas es algo que les gusta mucho probablemente se quedan muy centrados en la caricatura y se les olvida el objetivo principal. El otro [FarmerKeeper] el juego está bastante llamativo para ellos, lo veo muy adecuado y aunque a veces no se dan cuenta de que su atención es lo que hace que el tractor avance, una vez que agarran el truco, por así decirlo, si les podría funcionar bastante bien” (Maestro 3)

Esto se puede ver reflejado en los resultados del cuestionario TDAH-P que nos muestran que una mayor cantidad de participantes del grupo de FarmerKeeper (5 de 12) disminuyen su puntaje de la sub-prueba de inatención (*i.e.*, mejoran su atención), comparado con el grupo de Caricaturas, donde sólo 2 de 11 disminuyen su puntaje (Figura 33). A la vez, 2 de 11 participantes que utilizaron Caricaturas durante las sesiones de neuroretroalimentación empeoran sus problemas de atención, ya que obtienen un puntaje más alto en la sub-prueba de inatención post-condición. Comparado con solo 1 de 12 participantes que utilizaron FarmerKeeper. El resto de los participantes de ambas condiciones mejoraron su atención.

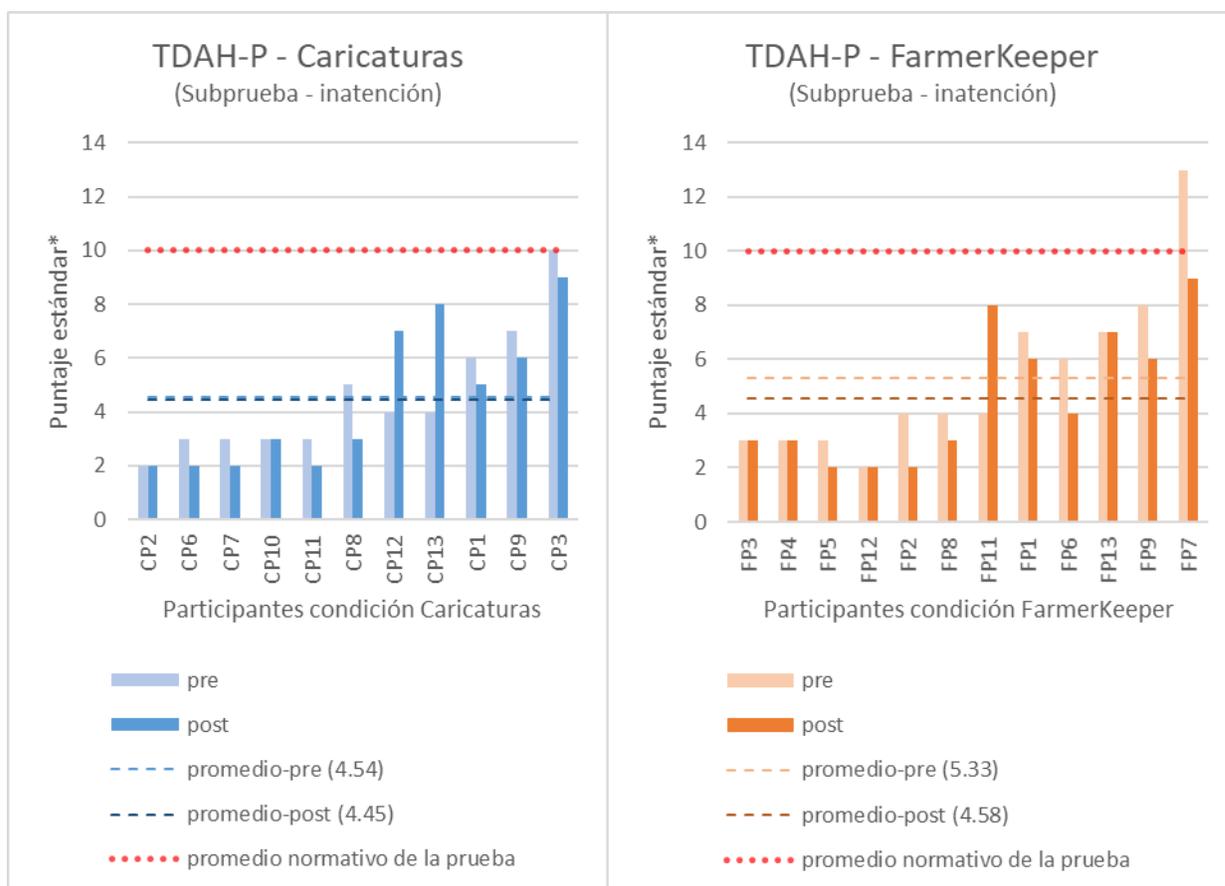


Figura 33. Resultados pre-condición y post-condición de la sub-prueba de inatención de la prueba TDAH-P para ambas condiciones. Participantes de Caricaturas (izquierda) y participantes de FarmerKeeper (derecha). *Un valor menor es mejor, es decir, un valor menor significa menores problemas de inatención.

Comparando los puntajes pre y post-condición de la sub-prueba de inatención de TDAH-P (Figura 34), por cada condición, vemos que para los participantes de Caricaturas los puntajes post-condición de los participantes quedan más dispersos en comparación a los puntajes pre-condición de Caricaturas, lo que nos puede sugerir que las sesiones de neuroretroalimentación utilizando Caricaturas podrían impactar de forma muy variable en los participantes (*i.e.*, tener un impacto en algunos participantes y en otros no, dependiendo de que tanto comprendan el objetivo y el interés que los participantes muestren en las sesiones). Por otro lado, los puntajes post-condición de los participantes de FarmerKeeper, disminuyen de manera más uniforme en comparación a la distribución que presentan los puntajes pre-condición de FarmerKeeper. Comparando los puntajes pre-condición entre los participantes de FarmerKeeper y Caricaturas (Figura 34), se puede observar que los participantes de FarmerKeeper se encuentran más dispersos y existen más participantes con mayores problemas de inatención. Sin embargo, el puntaje promedio post-condición de los participantes de FarmerKeeper disminuye de mejor manera (*e.g.* disminuyen más los problemas de atención), y queda muy similar en ambas condiciones.

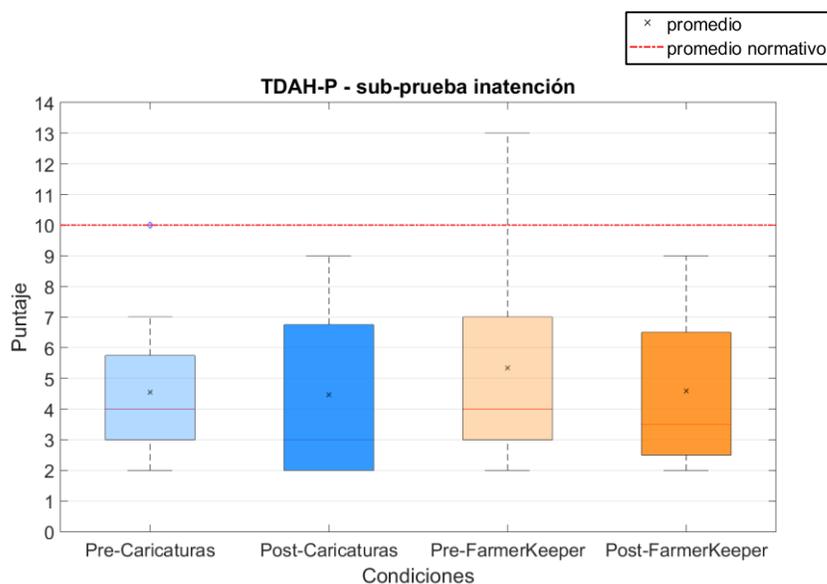


Figura 34. Comparación de los puntajes pre-condición y post-condición de la sub-prueba de inatención de la prueba TDAH-P para ambas condiciones. *Un valor menor es mejor, es decir, un valor menor significa menos problemas de inatención.

Esto nos puede dar un indicio de que las sesiones de neuroretroalimentación utilizando FarmerKeeper pueden impactar de una forma más uniforme en la mayoría de los participantes

Estos resultados nos pueden sugerir que el utilizar Caricaturas durante las sesiones de neuroretroalimentación podría ser efectivo para disminuir problemas de atención solo en participantes con ciertas características o gustos específicos, mientras que el utilizar FarmerKeeper podría ser más efectivo y utilizarse como una herramienta más general, ya que parece ajustarse mejor a los gustos de mayor número de participantes, al tener una temática y objetivo que puede ser de interés para la mayoría de los participantes.

Esta mejora ligeramente mayor en los participantes de FarmerKeeper puede deberse a que en promedio, los resultados nos sugieren que los participantes de FarmerKeeper estuvieron más tiempo haciendo un esfuerzo por alcanzar un valor de atención por arriba del umbral, para poder encontrar más animales, mientras que los participantes de Caricaturas en general parecían perder fácilmente el objetivo y no hacer esfuerzo por estar arriba del umbral. Es decir, la actividad cerebral de los participantes de FarmerKeeper se autorreguló de mejor manera durante las sesiones, lo que a su vez ayudó a tener un mejor impacto en mejorar la atención de los participantes fuera de las sesiones.

En las entrevistas, todos los maestros (10 de 10) coinciden en que FarmerKeeper puede tener un mejor impacto en la atención de los niños que las Caricaturas, ya que al utilizar FarmerKeeper los niños hacen un mayor esfuerzo que al utilizar Caricaturas, lo cuál al final se ve reflejado en una mayor mejora en la atención.

“las caricaturas es algo que les gusta mucho probablemente se quedan muy centrados en la caricatura y se les olvida el objetivo principal... en Caricaturas están en la actividad, pero realmente no están haciendo un esfuerzo para mantener la atención, no tienen que hacer nada para estar viendo la caricatura entonces lo del sonido no les llama la atención e igual la siguen viendo así.”
(Maestra 4)

“es que en el de Caricaturas es algo muy común que hacen normalmente en su casa, el niño se emboba muy fácil y no hace mucho esfuerzo, ya que es algo a lo que tienen acceso comúnmente y no les produce un reto mental, en cambio en este [FarmerKeeper] sí hacen más esfuerzo por querer seguir obteniendo más vacas, gallinas, u otros animales. Y al hacer más esfuerzo están ejercitando de mejor manera su cerebro, acostumbrándolo a estar en un estado de atención” (Maestra 5)

5.2.2 Control de la atención

Los resultados del análisis de los datos de atención, nos muestran que en promedio, durante el tiempo total de las 3 fases de actividad de las sesiones, los participantes de FarmerKeeper (Figura 35, izquierda-abajo) realizaron menos cambios (8.6 cambios menos, $p = 0.04884$) entre el valor del umbral (*i.e.*, menos cambios entre un valor < 40 , *no atención*, y un valor ≥ 40 , *atención*), en comparación con el grupo de Caricaturas (Figura 35, izquierda-arriba). Lo que nos indica que los participantes que utilizaron FarmerKeeper estuvieron menos dispersos que los participantes que utilizaron Caricaturas. Además, la mayoría de los participantes de FarmerKeeper (10 de 12) realizan un menor número de cambios que el promedio de los participantes de Caricaturas; mientras que la mayoría de los participantes de Caricaturas (9 de 11) realizan un mayor número de cambios que el promedio de los participantes de FarmerKeeper (Figura 35, derecha). Estos resultados nos pueden sugerir que los participantes que utilizaron FarmerKeeper, al tener una atención menos dispersa, controlan de mejor manera su atención durante las fases de actividad de las sesiones, en comparación con los participantes que utilizaron Caricaturas, los cuales presentaron una atención más dispersa durante las sesiones.

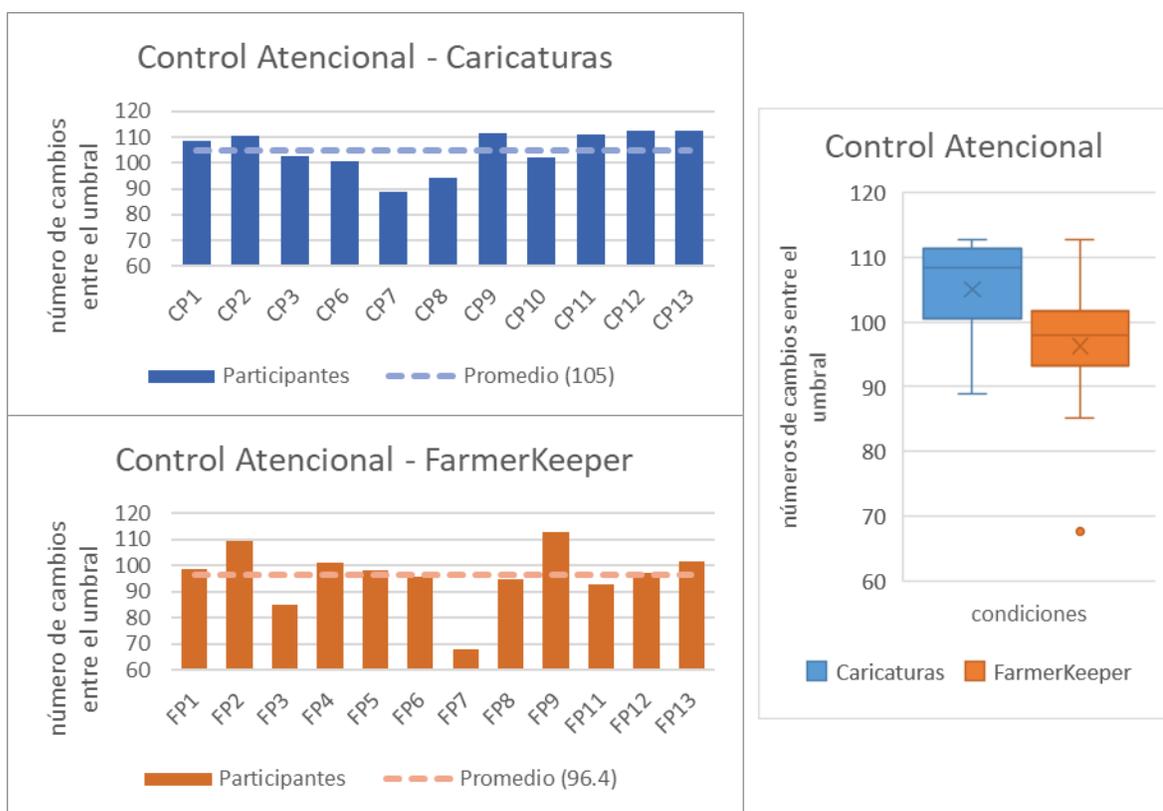


Figura 35. Promedio del número de cambios entre el valor del umbral para ambas condiciones durante las 3 fases de actividad de las sesiones por participante. Participantes de Caricaturas (izquierda arriba) y participantes de FarmerKeeper (izquierda abajo). Comparación del control atencional entre los participantes de ambas condiciones (derecha). * Un valor menor es mejor, es decir, en mejor cuando hay menos número de cambios.

Estos resultados pueden atribuirse a la manera en que se encuentran distribuidos los estímulos visuales en la pantalla principal de FarmerKeeper, evitando sobrecargar la pantalla con estímulos y centrando los estímulos más relevantes en un punto específico de la pantalla para que el niño se pueda enfocar en una sola parte de la pantalla. Con esto, los participantes tienen un mejor desempeño ya que no necesitan estar volteando a diferentes partes de la pantalla. En contraste, los estímulos visuales en las Caricaturas en ocasiones están dispersos por toda la pantalla y constantemente compiten por la atención del participante, lo que hace que su atención esté un poco más dispersa. También, durante las sesiones de las Caricaturas la mayoría de los niños querían estar platicando lo que estaba pasando en la caricatura con el encargado de la sesión, lo que hacía que la atención del niño se dispersara al estar cambiando su atención de un punto a otro durante la fase de actividad.

Los maestros coinciden en que FarmerKeeper tiene elementos que los motivan a centrarse en la actividad, como los animales y la posición del tractor que va avanzando. También, coinciden en que la disposición simple de los estímulos en FarmerKeeper ayuda a que los participantes no estén tan dispersos durante las sesiones de neuroretroalimentación, en comparación a las Caricaturas.

“El juego [FarmerKeeper] los entretiene más, les gusta más. Y, por ejemplo, con FP9, él se pierde muy rápido en sus actividades, y en el juego él si estaba como tratando de agarrar los animalitos, en cambio en los videos [Caricaturas] es como que siempre igual y los niños a veces se ponen a platicar sobre lo que está pasando en el video, lo que los distrae de la actividad principal.” (Maestro 5)

“El de la granja [FarmerKeeper] los mantenía motivados, el juego si los tenía con la motivación necesaria para enfocar la atención y continuar en el juego.” (Maestro 9)

5.2.3 Atención Sostenida.

Los resultados del análisis de los datos de atención nos muestran que en promedio los participantes de ambas condiciones logran mantener un nivel de atención arriba del umbral de manera consecutiva (*i.e.*, *atención sostenida*) por un tiempo de al menos 10 seg. (Caricaturas=10.38 seg, FarmerKeeper=12.15 seg, Figura 36, derecha); es decir, su atención sostenida es en promedio de al menos 10 seg. Sin embargo, en promedio los participantes de FarmerKeeper (Figura 36, izquierda-abajo) lograron mantener la atención de manera consecutiva 2 seg. más ($p = 0.1164$) que el promedio de los participantes del grupo de Caricaturas (Figura 36, izquierda-arriba). Además, 10 de 12 participantes de FarmerKeeper logran una atención sostenida por un tiempo igual o mayor al promedio de los participantes de Caricaturas, mientras que 9 de 11 participantes de Caricaturas logran una atención sostenida por un tiempo menor al promedio de los participantes de FarmerKeeper (Figura 36, derecha). Esto nos sugiere que los participantes que utilizaron FarmerKeeper logran una atención sostenida ligeramente mejor, ya que se mantienen con un nivel de atención arriba del umbral por más tiempo que los participantes que utilizaron Caricaturas.

Esto puede deberse a una combinación de los resultados anteriores, ya que se requiere que el participante este con un nivel de atención igual/mayor al umbral pero esta vez por un tiempo consecutivo, sin estar haciendo cambios entre el valor del umbral. FarmerKeeper ayuda a mantener motivados a los participantes y a su vez presentar estímulos que no hagan que su atención se disperse, lo que ayuda a los participantes a lograr una atención sostenida por un período promedio de tiempo más largo. En comparación con los participantes que utilizaron Caricaturas, donde para algunos el objetivo de permanecer con un nivel de atención arriba del umbral no era tan motivante y ciertos estímulos hacían

que la atención de los participantes se dispersara, provocando una atención sostenida por períodos de tiempo más corto (en promedio).

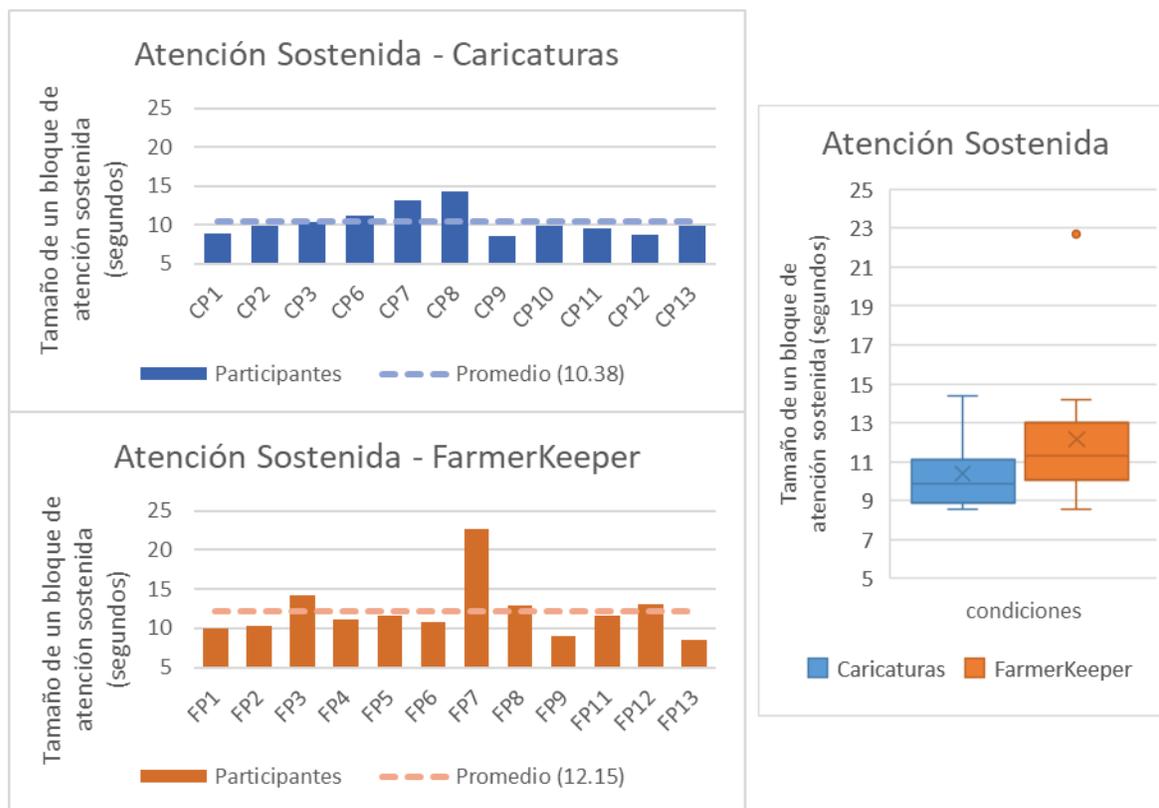


Figura 36. Promedio de atención sostenida durante las fases de actividad por participante. Es decir, promedio del tamaño de un bloque con valores consecutivos igual/mayor al umbral predefinido. Participantes de Caricaturas (izquierda arriba) y participantes de FarmerKeeper (izquierda abajo). Comparación de la atención sostenida entre los participantes de ambas condiciones (derecha).

De la misma manera, una combinación de los resultados de atención y control atencional se puede ver reflejada en los resultados de la sub-prueba de alerta (atención sostenida) de la prueba CRSD-ant, los cuales nos muestran que en ambas condiciones la mayoría de los participantes tienen una mejora en atención sostenida, 8 de 11 en Caricaturas, y 9 de 12 en FarmerKeeper (Figura 37). Sin embargo, casi el doble de participantes de FarmerKeeper (6 de 12) logran estar por arriba del control positivo (*i.e.*, del puntaje promedio reportado en el estudio de validación de la prueba CRSD-ant (Weaver et al., 2013) por jóvenes neurotípicos), en comparación con los del grupo de Caricaturas donde un menor número de participantes (3 de 11) logran estar por arriba del control positivo.

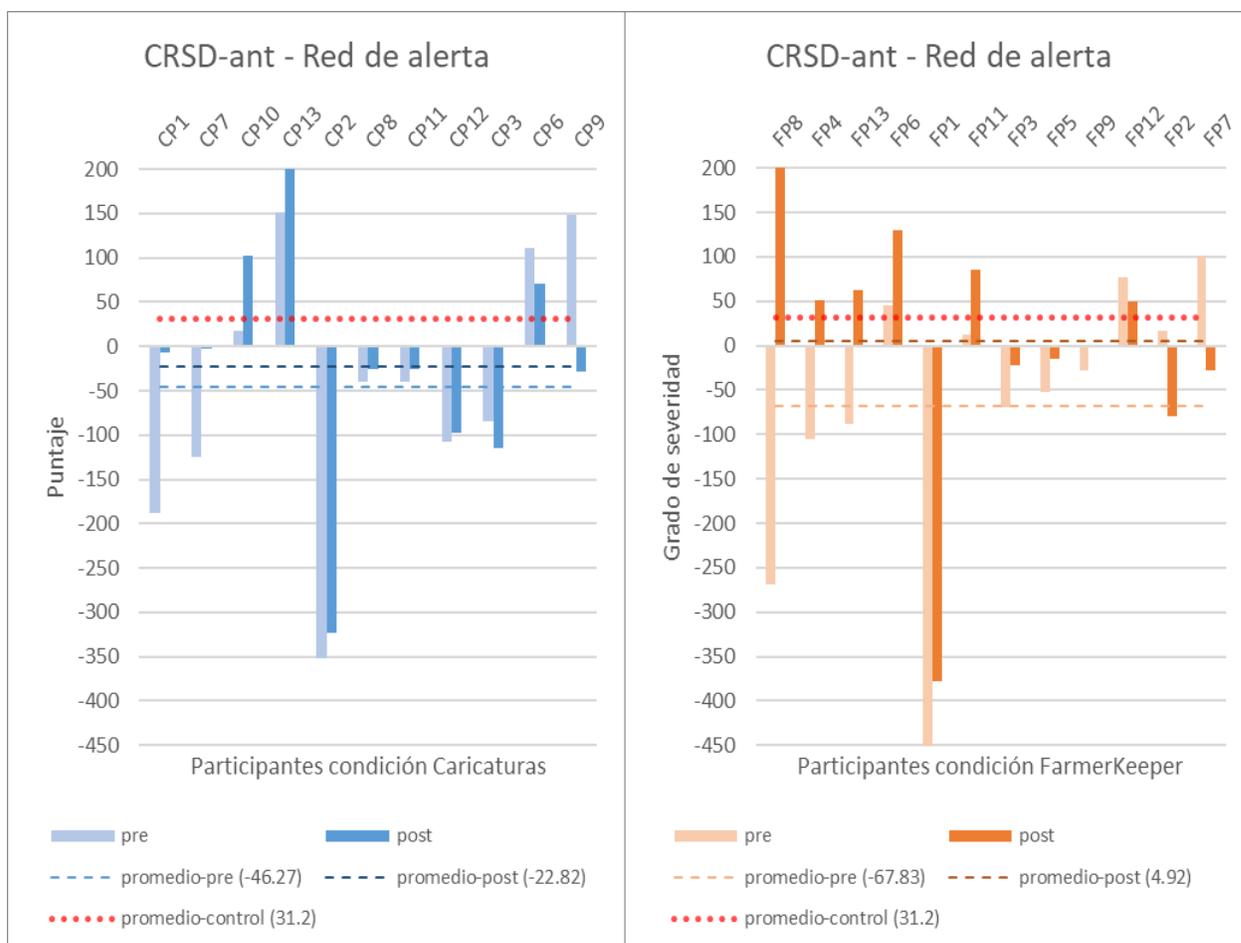


Figura 37. Resultados pre-condición y post-condición de la prueba CRSD-ant para ambas condiciones. Participantes de Caricaturas (izquierda) y participantes de FarmerKeeper (derecha). El promedio control es el puntaje promedio reportado en el estudio de validación de la prueba CRSD-ant.

Comparando los puntajes pre y post-condición de la sub-prueba de alerta (*i.e.*, *atención sostenida*) de la prueba CRSD-ant (Figura 38), por cada condición, vemos que para ambas condiciones los puntajes post-condición de los participantes quedan más altos (*i.e.*, mejora) y un poco menos dispersos en comparación a sus respectivos puntajes pre-condición, lo que nos puede indicar que en general las sesiones de neuroretroalimentación tuvieron un buen impacto en la atención sostenida de los participantes para ambas condiciones.

Por otro lado, los puntajes post-condición de los participantes de la condición de FarmerKeeper, aumentan en promedio 3 veces más en comparación a los puntajes pre-condición (Figura 38), entre resultados pre y post-condición, en los participantes de FarmerKeeper (diferencia = 72.75), comparado con los puntajes post y pre-condición de los participantes de Caricaturas (diferencia = 23.45). Esto nos sugiere que las sesiones de neuroretroalimentación utilizando FarmerKeeper pueden impactar de una mejor manera,

ayudando a mejorar la atención de los niños con autismo, en comparación al uso de Caricaturas durante las sesiones de neuroretroalimentación.

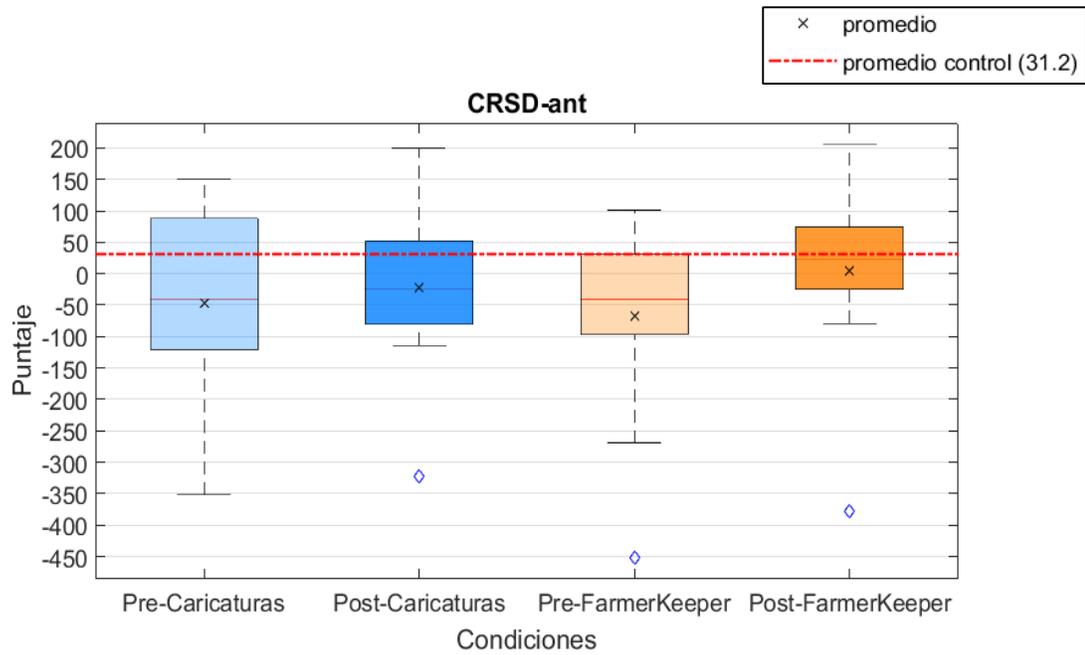


Figura 38. Comparación de los puntajes pre y post de la prueba de alerta de CRSD-ant para ambas condiciones.

5.2.4 Ejemplos de casos de estudio

Para ejemplificar los resultados durante el estudio se clasificaron los participantes en 3 grupos por cada una de las condiciones (*i.e.*, Caricaturas y FarmerKeeper). Cada uno de estos 3 grupos representa a los mejores casos, los casos promedios, y los peores casos por condición. Para clasificar cada uno de los participantes se utilizaron los resultados del desempeño promedio durante las sesiones de cada participante. Teniendo 3 criterios para la clasificación de cada caso: atención, control atencional, y atención sostenida (**Figura 39**).

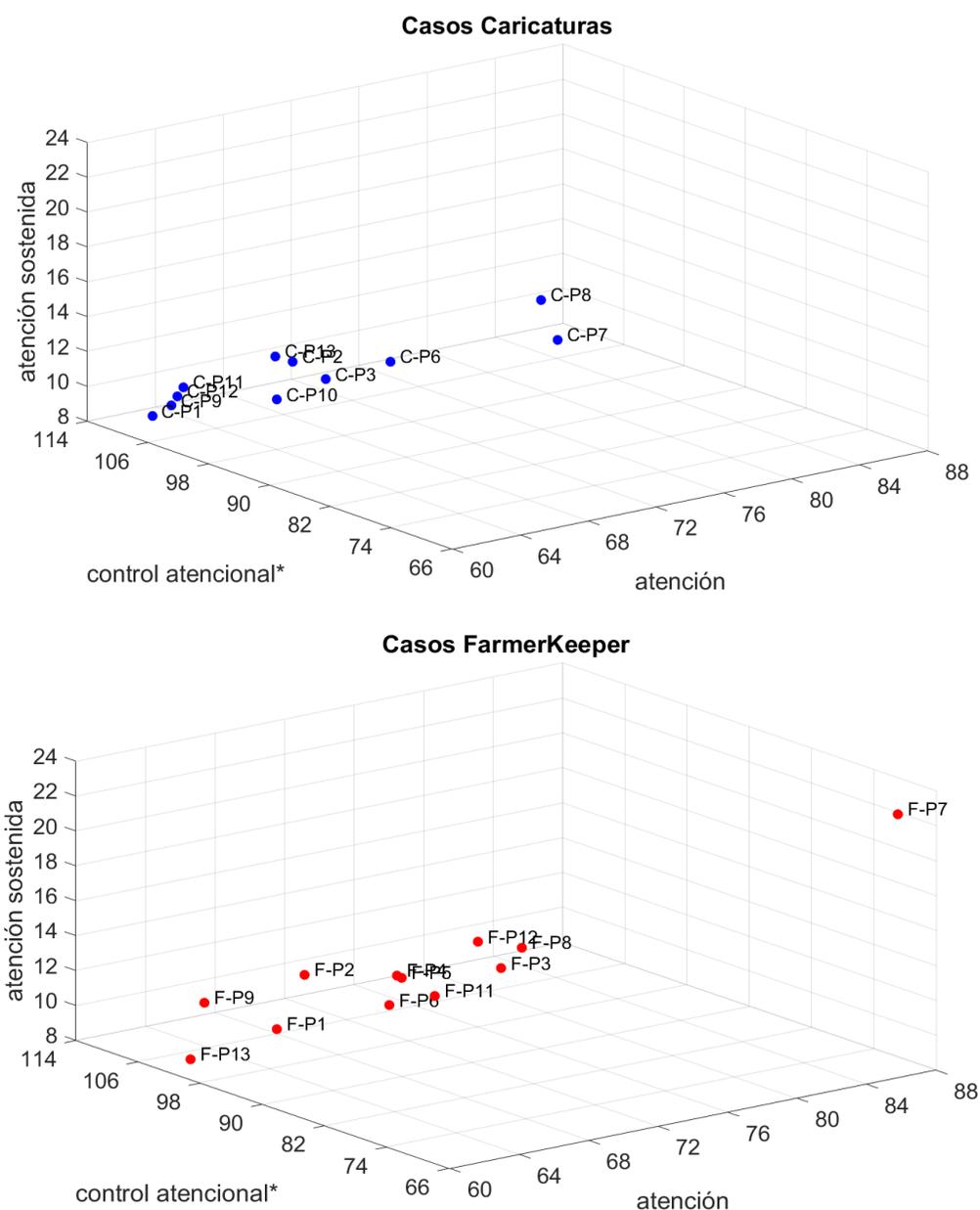


Figura 39. Criterios de selección para clasificar a los casos de participantes. Participantes de Caricaturas (arriba) y participantes de FarmerKeeper (abajo). Se busca que el valor de atención y atención sostenida sea mayor, mientras que el valor de control atencional*, que corresponde al número de cambios, sea menor.

5.2.5.1 Participantes de la condición de Caricaturas

Tomando en cuenta los 3 criterios para clasificar los casos (*i.e.*, atención, control atencional, y atención sostenida), se pueden observar 3 agrupaciones de datos. Donde en el primer grupo tenemos a 2 de 11 participantes, que se sitúan como los mejores casos (C-P8 y C-P7). En el segundo grupo tenemos a 5 de 11 participantes como los casos promedios (C-P2, C-P3, C-P6, C-P10, y C-P13). Y en el tercer grupo tenemos a 4 de 11 participantes situados como los peores casos (C-P1, C-P9, C-P11, y C-P12). A continuación, se presentan 3 casos de los participantes de Caricaturas, cada uno representando a cada grupo: C-P7 (mejor caso), C-P3 (caso promedio), y C-P9 (peor caso).

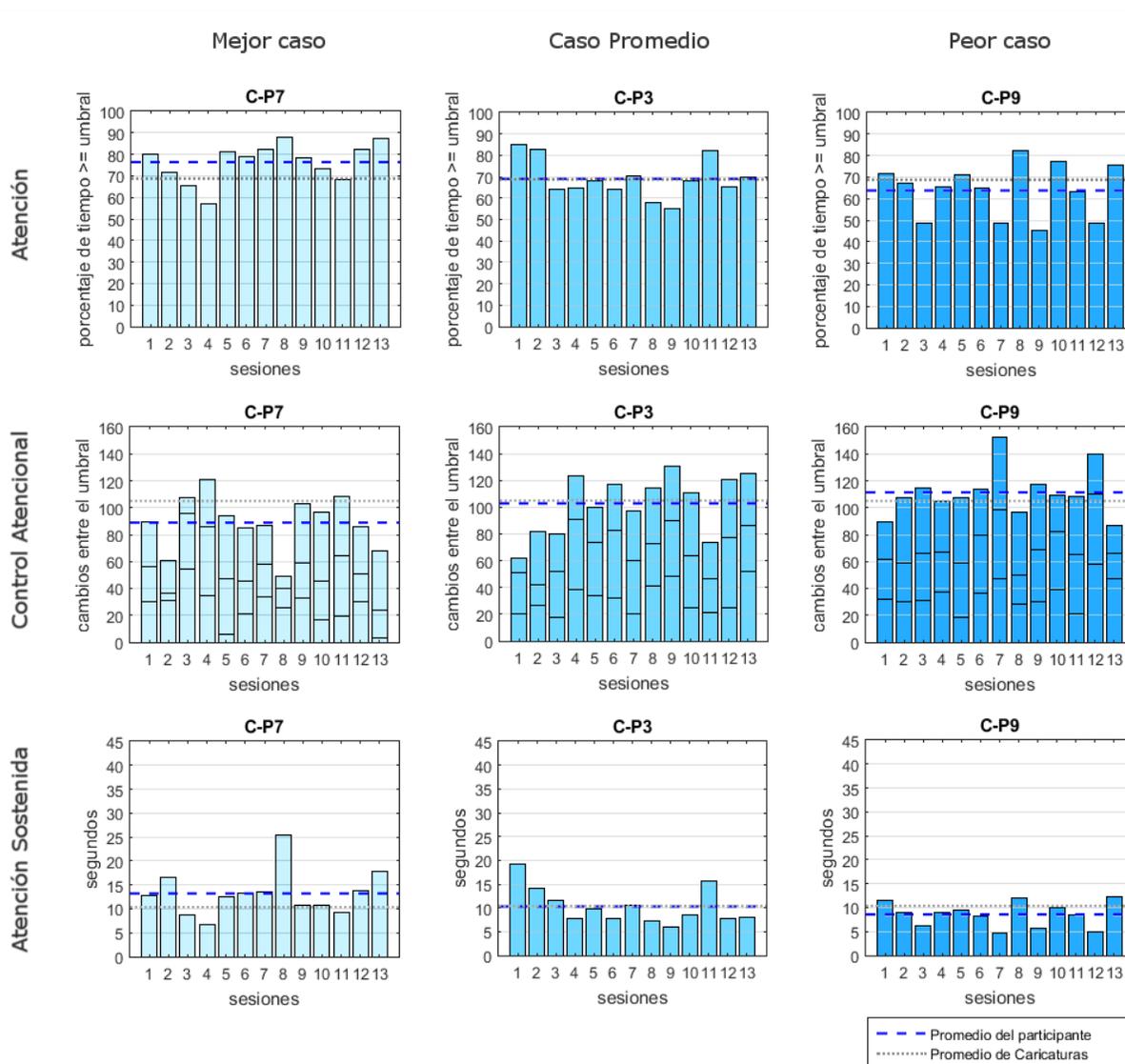


Figura 40. Análisis de los datos sensados por el dispositivo BCI para la condición de Caricaturas. Porcentaje de tiempo igual/mayor al umbral (renglón 1), número de cambios entre el umbral (renglón 2, *menor es mejor), y tiempo promedio de un bloque de atención sostenida (renglón 3). Para el mejor caso (C-P7, columna 1), un caso promedio (C-P3, columna 2), y el peor caso (C-P9, columna 3).

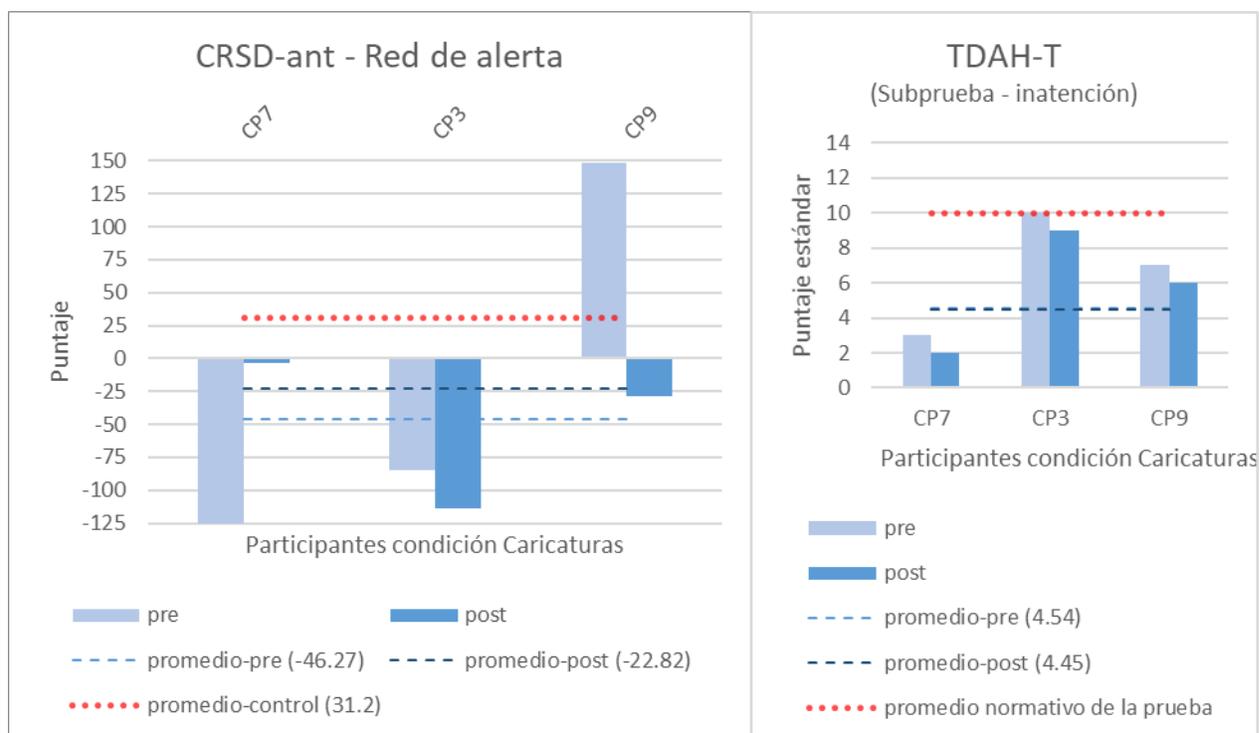


Figura 41. Análisis de los puntajes pre-condición y post-condición para el mejor caso, el caso promedio y el peor caso de los participantes de la condición de Caricaturas. Puntajes de la sub-prueba de alerta (atención sostenida) de la prueba CRSD-ant (izquierda). Puntajes de la sub-prueba de inatención de la prueba TDAH-T (derecha).

CP7 (Mejor caso): es un niño de 7 años con autismo de baja funcionalidad. Presenta problemas de atención de nivel bajo a medio. Es muy centrado y tranquilo, pero a la vez tiene baja iniciativa propia para realizar algunas actividades, es aparentemente tímido y no presenta interés en relacionarse con otros. Es muy rutinario, no le gusta que nada lo saqué de su estructura de todos los días.

Durante todas las sesiones estaba muy tranquilo. En las primeras sesiones entraba muy serio y poco a poco fue interactuando más o mostrándose más contento cuando entraba a las sesiones. Casi siempre pedía los mismos episodios de la caricatura, solo los cambiaba hasta la siguiente semana.

Los resultados del análisis de los datos sensados por el dispositivo BCI muestran que fue uno de los mejores casos, estando siempre por arriba del promedio (Figura 40, columna 1). Siendo uno de los participantes de la condición de Caricaturas que logró mejorar más su puntaje de atención sostenida de la prueba CRSD-ant, comparando su puntaje pre-condición y post-condición (Figura 41, izquierda). Y a la vez mostrando una disminución de los problemas de atención en la prueba TDAH-P (Figura 41, derecha).

Las maestras de su grupo de clase consideran que en las últimas semanas del estudio CP7 se notaba mucho más despierto y atento. Mencionan que puede hacer muchas más cosas por sí mismo, y si notan un cambio bastante positivo en él. También consideran que el estudio le ayudó a mejorar su flexibilidad, el poder romper un poco la rutina. Cuando le tocaba ir a las primeras sesiones de neuroretroalimentación notaron que no estaba reaccionando muy bien, se molestaba o enojaba, pero después hubo un momento en el que ya no le importaba dejar cosas a medio terminar, que le quitarán el tiempo libre o que le cambiaran cosas en la agenda, lo que consideran que fue algo bueno para él, ya que tenían tiempo trabajando eso con él y no veían resultados positivos hasta que participó en el estudio.

CP3 (Caso promedio): es un niño de 5 años con autismo de baja funcionalidad, verbal. CP3 presenta problemas de atención de nivel alto, es un niño muy inquieto, es muy difícil que pueda permanecer sentado realizando una actividad. También presenta problemas de conducta, es un niño que demanda que le presten atención (*i.e.*, la mayor parte del tiempo solo quiere que se haga lo que él diga).

Durante todas las sesiones era participativo. Al principio del estudio en las primeras sesiones se ponía un poco inquieto, subía los pies a la silla y quería estar platicando lo que veía en las caricaturas. Conforme fueron avanzando las sesiones comenzó a estar más calmado y quieto. Por lo general siempre hacía los mismos comentarios de las caricaturas y seleccionaba los mismos episodios. Se presentó conflicto al realizar la prueba CRSD-and post-condición, ya que mencionaba que quería ver los videos y no quería hacer la prueba, sin embargo, la hizo, pero se mostraba menos motivado en comparación a los otros días con las sesiones de neuroretroalimentación. La maestra encargada mencionó que era más un problema conductual del niño y si se volvía a hacer la prueba iba a pasar lo mismo.

Los resultados del análisis de los datos sensados por el dispositivo BCI muestran que fue uno de los casos promedios, estando siempre muy cerca o en el promedio de los participantes de la condición Caricaturas (Figura 40, columna 2). Es uno de los participantes de la condición de Caricaturas que tuvo menos diferencia en su puntaje pre-condición y post-condición de atención sostenida de la prueba CRSD-ant (Figura 41, izquierda). Sin embargo, en base al puntaje de la sub-prueba de inatención de la prueba TDAH-P se ve que logró disminuir un poco sus problemas de atención (Figura 41, derecha).

Las maestras de su grupo de clase consideran que hubo un avance general en mejorar su atención, aunque es algo que consideran que ocupa más trabajo en él, por los tipos de problemas que presenta, mencionaron que aún se distrae en ocasiones y voltea a otras partes, pero que en general si está más

atento que antes de participar en el estudio. Además, también presenta mejor autocontrol, está más tranquilo y menos inquieto mientras realiza una actividad.

CP9 (Peor caso): es un niño de 8 años con autismo de baja funcionalidad, verbal. Presenta problemas de atención de nivel alto. Es muy voluntarioso y participativo, pero se distrae muy fácilmente. Su atención es muy dispersa si la actividad no es algo que él quiere hacer en ese momento.

Siempre que entraba preguntaba si no podía ver una caricatura diferente (que no fuera “*Untalkative Bunny*”). Al parecer no le gustaban esas caricaturas y perdía mucho la atención. Se distraía mucho durante el transcurso de las actividades de las sesiones. Todo le llamaba la atención menos las caricaturas.

Los resultados del análisis de los datos sensados por el dispositivo BCI muestran que fue uno de los peores casos, estando siempre por debajo del promedio (Figura 40, columna 3). Y siendo uno de los participantes de la condición de Caricaturas que en lugar de mejorar su puntaje de atención sostenida de la prueba CRSD-ant, disminuyó, comparando su puntaje pre-condición y post-condición (Figura 41, izquierda). Esta disminución de su puntaje puede atribuirse a que durante la sesión de la prueba de atención post-condición, el participante se mostró muy desinteresado en realizarla. A su vez, en el puntaje de la subprueba de inatención de la prueba TDAH-P nos muestra que las maestras percibieron que el niño si disminuyó un poco sus problemas de atención en sus actividades diarias (Figura 41, derecha).

Las maestras mencionan que siempre llegaba contento al salón después de regresar de las sesiones. Sin embargo, no notaron cambios en la atención del niño. Esto podría atribuirse a que las caricaturas utilizadas durante las sesiones de neuroretroalimentación no capturaban su atención, y al no ser de su interés no hacía un esfuerzo por lograr el objetivo de verlas y escucharlas, por lo que su desempeño fue muy bajo. Una solución podría ser utilizar caricaturas personalizadas, sin embargo, una solución que podría adaptarse de manera más general a un mayor número de niños pudiera ser utilizar FarmerKeeper en las sesiones de neuroretroalimentación. Ya que el diseño de FarmerKeeper toma en consideración la parte de tomar un tema general, y en este caso la granja es un tema general que le llama la atención a la mayoría de los niños con autismo de Pasitos, ya que las maestras también utilizan animales en diversas actividades y terapias. Además, el objetivo principal de FarmerKeeper (*i.e.*, ir encontrando animales) y el reto de poder encontrar cada vez más animales o juntar suficientes monedas para personalizar su personaje pudiera ser un motivante para que el niño se desempeñe mejor durante las sesiones de neuroretroalimentación.

5.2.5.2 Participantes de la condición FarmerKeeper

En el caso de los participantes de FarmerKeeper, tomando en cuenta los 3 criterios para clasificar los casos (*i.e.*, atención, control atencional, y atención sostenida), las agrupaciones de los datos no son tan claras a simple vista, sin embargo, también se pueden obtener 3 agrupaciones de datos. En el primer grupo tenemos a 1 de 12 participantes, que se sitúan como el mejor caso (F-P7). En el segundo grupo tenemos a 7 de 12 participantes como los casos promedios (F-P3, F-P4, F-P5, F-P6, F-P7, F-P8, y F-P11). Y en el tercer grupo tenemos a 4 de 12 participantes situados como los peores casos (F-P1, F-P2, F-P9, y F-P13). A continuación, se presentan 3 casos de los participantes de FarmerKeeper, cada uno representando a cada grupo: F-P7 (mejor caso), F-P5 (caso promedio), y F-P13 (peor caso).

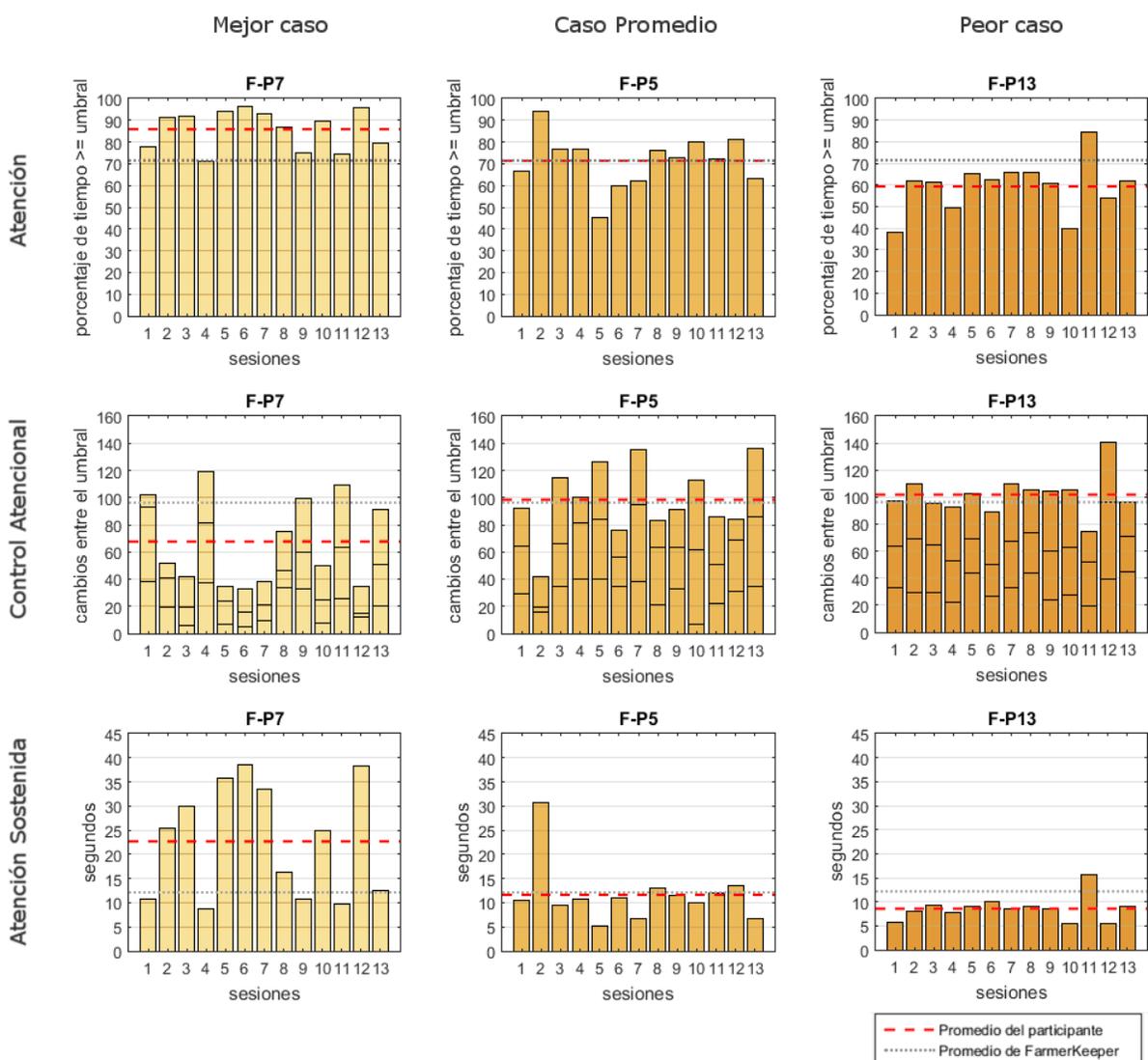


Figura 42. Análisis de los datos sensados por el dispositivo BCI para la condición de FarmerKeeper. Porcentaje de tiempo igual/mayor al umbral (renglón 1), número de cambios entre el umbral (renglón 2, *menor es mejor), y tiempo promedio de un bloque de atención sostenida (renglón 3). Para el mejor caso (F-P7, columna 1), un caso promedio (F-P5, columna 2), y el peor caso (F-P13, columna 3).

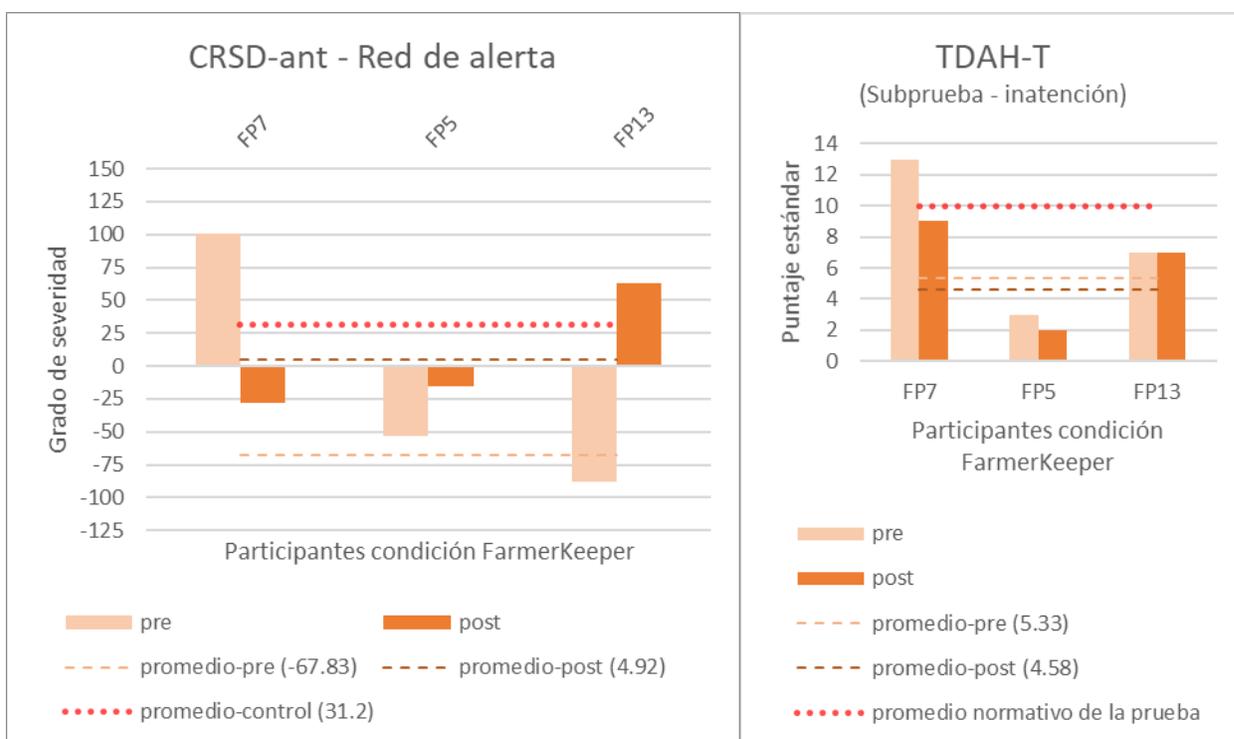


Figura 43. Análisis de los puntajes pre-condición y post-condición para el mejor caso, el caso promedio y el peor caso de los participantes de la condición de FarmerKeeper. Puntajes de la sub-prueba de alerta (atención sostenida) de la prueba CRSD-ant (izquierda). Puntajes de la sub-prueba de inatención de la prueba TDAH-T (derecha).

FP7 (Mejor caso): es un niño de 8 años con autismo de baja funcionalidad, poco verbal. FP7 presenta problemas de atención de nivel alto, es un niño que la mayor parte del tiempo está muy disperso. Además, presenta problemas de interacción, no le gusta hacer contacto con las personas y se aísla mucho. Es un niño que le gustan mucho los videojuegos en general.

Desde la primera sesión mostró interés y entusiasmo por FarmerKeeper. Le gustaba seguir la estructura de las fases de las sesiones de neuroretroalimentación, al iniciar él siempre quería ver la historia del juego, y aunque se puede omitir de todos modos quería verla. Le gustaba seleccionar al personaje en la tienda, aunque la mayoría de las veces lo dejaba con el mismo color de ropa y el mismo tractor que la vez anterior. Su motivación se mantuvo durante toda la intervención. Además, durante las primeras sesiones casi no hacía contacto visual ni verbal con el encargado de las sesiones en ningún momento, y poco a poco fue interactuando más, armando algunas frases para decir que animales buscar y durante la personalización del personaje, en los momentos antes o después de las fases de actividad. En las fases de actividad sí permanecía concentrado en el juego y en mantener el tractor en movimiento para lograr encontrar la mayor cantidad de animales posibles, evitando interacciones durante la fase de actividad para evitar distraerse.

Los resultados del análisis de los datos sensados por el dispositivo BCI muestran que fue uno de los mejores casos, estando siempre por arriba del promedio (Figura 42, columna 1). Sin embargo, en la prueba de atención CRSD-ant post-condición su puntaje fue más bajo que su puntaje de la prueba pre-condición (Figura 43, izquierda). Esto puede deberse principalmente a que encontró un poco más monótona y aburrida la prueba y estar pensando en querer jugar a FarmerKeeper. Ya que cuando se le dijo que iba a realizar esa actividad si mencionó que mejor quería jugar a FarmerKeeper, sin embargo, si cooperó y realizó la prueba. Pero durante la prueba se veía que su motivación era muy baja, comparada con su motivación al utilizar FarmerKeeper. Además, ya que el desempeño del niño fue muy bueno durante todas las sesiones, el umbral pudo no haber representado un reto para él y el uso de un umbral más alto que lo hiciera realizar más esfuerzo pudo haber ayudado a lograr un mejor resultado en su atención. Aun así, en la comparación de los puntajes pre y post-condición de la sub-prueba de inatención de la prueba TDAH-P se puede ver que las maestras percibieron que sus problemas de atención disminuyeron en gran medida, ya que el puntaje disminuyó hasta 4 puntos y fue el participante que tuvo mejor cambio en esta sub-prueba (Figura 43, derecha).

Las maestras de su grupo de clases comentan que las últimas semanas notaron que comenzaba a estar menos disperso y concentrarse más en sus actividades. También comentaron que mejoró un poco la parte del lenguaje, ya que comenzó a armar frases para mencionar que le gustaba ir a las sesiones y algunas frases relacionadas a las actividades que hacían durante las sesiones, lo decía en voz alta o lo decía a las maestras como pidiendo permiso para ir a las sesiones. También notaron una mejora en la interacción, ya que a veces él mismo buscaba al encargado de realizar las sesiones, algo que lo veían un poco raro porque él casi no busca a nadie, es un niño que se aísla mucho.

FP5 (Caso promedio): es un niño de 6 años con autismo de media funcionalidad, verbal. FP5 es un niño con el que es muy notorio el efecto novedad, es bueno para concentrarse y tiene buenas habilidades para hacer cosas nuevas, pero poco a poco va perdiendo su interés, y comienza a estar muy disperso en las actividades que ya no son nuevas para él, es un niño al que se le tienen que estar poniéndole nuevos retos.

Durante las primeras sesiones FP5 entraba muy entusiasmado a las sesiones de FarmerKeepr, y completaba las 3 fases de actividad motivado. Conforme fueron pasando las sesiones, FP5 completaba 2 fases de actividad y la 3ra fase mencionaba que no quería seguir o que ya había terminado; sin embargo, se le decía que tenía que hacerla una más para terminar y si la hacía, pero se veía un poco menos motivado durante la última fase. Fue el único participante que siempre usaba las monedas y desbloqueó todo o casi todo de la parte de personalización del personaje y el tractor, eso hacía que quisiera seguir jugando para

ver cómo se veía el personaje con los nuevos accesorios o tractores que desbloqueaba. Y a la siguiente sesión mostraba interés por desbloquear nuevas cosas en la parte de personalización y usarlas durante el juego.

Los resultados del análisis de los datos sensados por el dispositivo BCI muestran que fue uno de los casos promedios, estando siempre en el promedio o muy cerca del promedio (Figura 42, columna 2). Es uno de los participantes de la condición de FarmerKeeper que tuvo menos diferencia en su puntaje pre-condición y post-condición de atención sostenida de la prueba CRSD-ant (Figura 43, izquierda). Y a la vez el resultado del puntaje de la sub-prueba e inatención de la prueba TDAH-P nos muestra que hubo una mejora en su atención, disminuyendo un poco sus problemas (Figura 43, derecha).

Las maestras de su grupo de clases mencionan que no notaron cambios en cuanto a su atención en las actividades de clase. Sin embargo, mencionan que hubo un poco más de interacción con otros de sus compañeros que también entraban a las sesiones, ya que al principio se ponían a platicar del juego y después de otros temas o de las actividades que hacían en el salón. También mencionan que el comportamiento de mostrar menos interés conforme va repitiendo las actividades es un comportamiento normal en él y necesitan estar incluyéndole algunos cambios o retos nuevos para poder motivarlo a repetir ciertas actividades.

FP13 (Peor caso): es un niño de 13 años con autismo de baja funcionalidad, no verbal. FP13 presenta problemas de atención de nivel medio y es muy estructurado. Presenta sensibilidad por el uso de objetos nuevos y extraños. Es muy visual, y trabaja mejor cuando se le dan instrucciones por modelado.

Durante las sesiones siempre estaba muy participativo. Poco a poco decía algunas palabras para escoger el color de la ropa del personaje y elegir los animales a buscar. Poco a poco comenzaba a interactuar más con el juego, al grado de él querer usar la computadora (mouse) para seleccionar el color de la ropa del personaje y los animales. Hubo unas sesiones donde se notó que comenzó a no estar tan participativo y un poco disperso, sin embargo, las maestras detectaron e informaron que si le tocaba entrar a las sesiones antes de su hora de la comida era cuando no estaba participativo, porque iba un poco molesto por el cambio de rutina, a diferencia de cuando le tocaba pasar después de la comida que estaba muy participativo. Por lo que se comenzó a pasar por él en un horario después de la comida y volvió a estar participativo y menos disperso durante las sesiones. En las primeras sesiones mostraba un poco de incomodidad por el dispositivo BCI, sobre todo con el clip de la oreja, pero conforme fueron avanzando las sesiones se fue acostumbrando y usándolo con más normalidad. Había ocasiones que comenzaba a

moverse mucho y se le daban instrucciones, pero hasta que se le ponía el ejemplo de poner las manos en la mesa él hacía lo mismo y dejaba de hacer movimiento.

Los resultados del análisis de los datos sensados por el dispositivo BCI muestran que fue uno de los peores casos, estando siempre por debajo del promedio (Figura 42, columna 3). Sin embargo, en la prueba de atención CRSD-ant post-condición su puntaje fue más alto que su puntaje de la prueba pre-condición, y es uno de los participantes de FarmerKeeper que logra mejorar más su puntaje de atención durante la prueba CRSD-ant (Figura 43, izquierda). Esto puede deberse a que el umbral predefinido, para controlar el juego BCI con los datos de atención del dispositivo BCI, pudo haber estado un poco alto para él y aunque realizaba el esfuerzo no lograba pasar del umbral, por lo que su desempeño durante las sesiones fue bajo. Sin embargo, el realizar más esfuerzo durante las sesiones pudo haber ayudado a que su atención mejorara en las actividades fuera de las sesiones. Aun así, el puntaje de la sub-prueba de inatención de la prueba TDAH-P nos muestra que las maestras no percibieron un cambio general en sus problemas de atención, al no haber diferencia entre el puntaje pre y post-condición evaluado por las maestras.

Las maestras consideran que en ocasiones parecía que no entendía bien que su atención era lo que controlaba el juego. Ya que, aunque estaba viendo el monitor el tractor no avanzaba, pero que siempre se veía participativo e intentaba realizar un esfuerzo. Las maestras mencionan que cuando se iba antes de almorzar regresaba molesto y no quería hacer actividades, sin embargo, cuando iba después de comer regresaba muy contento, dispuesto y prestaba más atención, sin importar la actividad que le pusieran.

5.2.5 Otros beneficios potenciales

Además de los impactos en atención, con el análisis de las entrevistas se detectaron otros beneficios potenciales de las sesiones de neuroretroalimentación. Como son:

- *Mejoras en la interacción social, el lenguaje y la comunicación.* Los maestros mencionaron que detectaron que varios de los participantes de la evaluación comenzaron a presentar una mejor interacción social con los maestros, los terapeutas, y/o con los compañeros de clases. Y algunos de los participantes no verbales intentaban comunicarse más, mejorando un poco su lenguaje, para mencionar cosas sobre las actividades que se hacían en las sesiones de neuroretroalimentación o expresar su interés por ir a las sesiones.

“En el caso de nuestro grupo, dos de los participantes son niños que no les gusta andar en contacto, la interacción ni la parte del lenguaje, son niños que se aíslan bastante, y vi que a raíz de eso los dos empezaron a buscarte, cosa que es muy rara en ellos, es muy raro que busquen a alguien. Y los dos comenzaron a armar frases para mencionar que les gustaba ir y a veces mencionaban algo de la computadora y que querían buscar vacas comenzaron como a armar frasecitas en relación a las actividades que hacían con ustedes”. (Maestro 5)

“los niños antes interactuaban entre ellos, pero solo un grupo de 3, y de repente comenzaron a interactuar más entre ellos, y a raíz de que comenzaron a hablarse un poco más entre ellos comentando un poco de las actividades que hacían en las sesiones de neuroretroalimentación, ahorita los ves y de repente ya es un grupo de 7 niños que están platicando y conviviendo entre ellos”. (Maestro 3)

- *Mejoras de comportamiento y un mejor autocontrol.* También, los maestros mencionaron que detectaron que varios de los participantes presentaron mejoras de comportamiento, y notaron que algunos de ellos comenzaron a tener un mejor autocontrol que les permitía permanecer más tranquilos y quietos durante sus actividades diarias en el salón de clases. Esto lo atribuyen a que las sesiones de neuroretroalimentación requerían que el niño estuviera lo más quieto posible para lograr una mejor interacción con FarmerKeeper o las Caricaturas, lo que los fue acostumbrando a estar más tranquilos, y desarrollar de cierta forma un mejor autocontrol.

“sentíamos que cuando llegaban de nuevo al salón, después de ir a las sesiones de neuroretroalimentación, llegaba más relajado, más calmado, y con más disponibilidad para hacer las actividades del salón, aunque fueran actividades que normalmente les cuesta trabajo realizar” (Maestro 10)

“Por ejemplo, el participante F-P9, es muy ansioso y normalmente se muerde mucho las uñas y los dedos, pero en estas semanas hemos visto que está muy poco más tranquilo y que controla más ese comportamiento, sobre todo los días después de ir las sesiones de neuroretroalimentación” (Maestro 5)

“cuando regresaban de las sesiones de neuroretroalimentación, se notaba mucho el cambio, llegaban como más relajados, con un mejor comportamiento, al principio solo era por un rato, pero conforme fueron pasando los días se fue extendiendo un poco más, por lo que a largo

plazo pienso que también puede tener un impacto positivo en el comportamiento, en disminuir su ansiedad y aprender a estar más tranquilos". (Maestro 3)

"el niño CP-3, ya logra estar sentadito más tiempo en las actividades del salón, antes era de estar moviéndose y levantándose de la silla a cada rato, siento que también influyó en el autocontrol del niño, permitiéndole estar más atento, sin tanta impulsividad y permanecer tranquilo". (Maestro 1)

Sin embargo, es necesario un estudio más detallado para poder evaluar de mejor manera estos beneficios potenciales y cuantificar el impacto de las sesiones de neuroretroalimentación en estos aspectos.

5.3 Resumen y conclusiones

En este capítulo se describe la evaluación sumativa de FarmerKeeper. Durante la evaluación sumativa se realizó un estudio entre-sujetos en el centro psicopedagógico Pasitos, donde participaron 26 niños con autismo, 10 maestros/psicólogos de pasitos, y 2 terapeutas en neuroretroalimentación. La evaluación sumativa compara la eficacia de FarmerKeeper con el uso de Caricaturas al utilizarlos como apoyo en sesiones de entrenamiento de neuroretroalimentación para mejorar la atención de los niños con autismo. Las caricaturas elegidas fueron episodios de *"Untalkative Bunny"* por tener una animación y manejo de trama sencillas, utilizar colores llamativos y música de fondo similares a los que se utiliza FarmerKeeper. Los participantes se dividieron de manera aleatoria en dos grupos: El grupo experimental de 13 participantes utilizó FarmerKeeper, y el grupo de control, con otros 13 participantes utilizaron Caricaturas, durante 13 sesiones de entrenamiento de neuroretroalimentación.

El estudio consistió de 4 etapas: proceso de sensibilización, pruebas pre-condición, sesiones de neuroretroalimentación, y pruebas post-condición y entrevista. El proceso de sensibilización consistió en que los participantes utilizaran un prototipo simulando el dispositivo BCI, para irse acostumbrando gradualmente a utilizarla. Durante las pruebas pre-condición los maestros titulares de cada participante contestaron la prueba TDAH-P para cada participante y cada participante asistió a una sesión individual de aprox. 13 min. para realizar la prueba de atención CRSD-ant en una computadora de escritorio. Los participantes completaron 13 sesiones de neuroretroalimentación usando solo Caricaturas o FarmerKeeper, según en el grupo en el que se encontraban. Cada sesión consistía principalmente de 3

fases de actividad de 4 min c/u, con una fase de descanso entre cada fase de actividad. Al final del estudio, los maestros titulares de cada participante contestaron nuevamente la prueba TDAH-P para cada participante y cada participante asistió a una segunda sesión individual de aprox. 13 min. para realizar nuevamente la prueba de atención CRSD-ant. Por último, se aplicó una entrevista-semiestructurada a los maestros participantes con el objetivo de obtener más información acerca de sus opiniones y retroalimentación.

En general, nuestros resultados de los datos EEG, entrevistas y puntajes de las pruebas psicométricas de atención, muestran que los participantes que usaron FarmerKeeper mostraron una mejora ligeramente mayor en atención, estuvieron menos dispersos logrando un mejor control de la atención, y lograron una mejor atención sostenida (*i.e.*, bloques de atención), comparados con los participantes que usaron Caricaturas. Esto nos sugiere que las sesiones de neuroretroalimentación utilizando FarmerKeeper pueden impactar de una mejor manera, ayudando a mejorar la atención de los niños con autismo, en comparación al uso de Caricaturas durante las sesiones de neuroretroalimentación.

Además de los impactos en atención, con el análisis de las entrevistas se detectaron otros beneficios potenciales de las sesiones de neuroretroalimentación. Como son: (1) mejoras en la interacción social, el lenguaje y la comunicación, y (2) mejoras de comportamiento y un mejor autocontrol. Sin embargo, es necesario un estudio más detallado para poder evaluar de mejor manera estos beneficios potenciales y cuantificar el impacto de las sesiones de neuroretroalimentación en estos aspectos.

Capítulo 6. Conclusiones y trabajo futuro

6.1 Conclusiones

En esta tesis se describe el proceso de diseño, implementación y evaluación de FarmerKeeper, un video-juego BCI diseñado para apoyar sesiones de neuroretroalimentación de niños con autismo, controlado mediante un dispositivo BCI comercial. Un video-juego BCI que implementa las implicaciones de diseño propuestas podría cerrar la brecha entre la accesibilidad y la confiabilidad de las sesiones de neuroretroalimentación para niños con autismo. Además, este proyecto tiene el potencial de transformar las sesiones de neuroretroalimentación hacia una solución más accesible que podría llevar los últimos avances de las neurociencias a hogares y clínicas de niños con autismo. Esta propuesta podría reducir potencialmente los costos y las barreras asociadas con la neuroretroalimentación clínica, ayudando al tratamiento no farmacológico de los problemas de atención de niños con autismo. Así como también podría ayudar a aumentar las aplicaciones del cómputo ubicuo e Interacción Humano-Computadora en el área de neurociencias, permitiendo el crecimiento del desarrollo de sistemas innovadores ubicuos para apoyar las sesiones de neuroretroalimentación principalmente para niños con autismo.

Durante el diseño contextual se siguió una metodología centrada en el usuario y se realizó un estudio cualitativo que incluyó entrevistas y observaciones para entender y conocer las necesidades de los usuarios potenciales y generar escenarios de las sesiones de neuroretroalimentación. El aprendizaje del estudio cualitativo y la literatura se complementó con varias sesiones de diseño y sesiones de co-diseño involucrando a los usuarios potenciales de FarmerKeeper. Todo esto con el objetivo de encontrar las implicaciones de diseño necesarios para la implementación de un video-juego BCI que apoye de manera eficiente las sesiones de neuroretroalimentación de niños con autismo, enfocadas a disminuir sus problemas de atención.

El diseño final de FarmerKeeper consiste en un video-juego BCI tipo *corredor* con temática de la granja que implementa las fases típicas de una sesión de neuroretroalimentación. FarmerKeeper se ejecuta en una computadora de escritorio y se controla mediante un dispositivo BCI comercial. El objetivo principal es mantener la atención del usuario por arriba de un umbral para controlar un personaje que va buscando los animales perdidos de la granja para regresarlos a sus corrales. FarmerKeeper incluye un granjero que juega el rol del terapeuta en las sesiones de neuroretroalimentación dentro del video-juego, dando instrucciones visuales y verbales para mantener al niño motivado y enfocado, y ayudarlo a mantener una buena postura sin movimientos durante la sesión de neuroretroalimentación. Un niño granjero conduce

un tractor para buscar los animales perdidos y devolverlos a sus corrales. La atención del usuario, leída mediante un dispositivo BCI, controla la velocidad del tractor y el volumen de la música de fondo, de acuerdo con un umbral predefinido por el terapeuta. En el desarrollo de FarmerKeeper se utilizaron los dispositivos BCI comerciales *BrainLink* y *MindWave* ya que son fáciles de colocar y ambas tienen el chip *ThinkGear* internamente, el cuál mide la atención en una escala de 0 a 100, a través de su algoritmo propietario *eSense* y la calidad de la señal en una escala de 0 a 255 (el ruido detectado es mayor entre más grande es el número). Estos valores se utilizaron como los valores de entrada, equivalentes a la atención del usuario y la calidad de la señal, para controlar el video-juego BCI.

Desde el punto de vista de diseño, dentro de los resultados del proceso de diseño (Capítulo 3) se enlistaron las fases de una sesión de neuroretroalimentación (*i.e.*, fase de *Relajación*, fase de *Actividad*, y fase de *Descanso*). Y se sugiere que estas fases sean utilizadas como base para diseñar las diferentes secciones del video-juego BCI.

Además, se encontraron tres implicaciones de diseño y ocho aspectos de diseño que se deben tomar en cuenta para el desarrollo de un video-juego BCI para apoyar sesiones de neuroretroalimentación de niños con autismo:

- a) Promover el enganche: (1) Mantener la historia simple, (2) Proporcionar recompensas a logros a corto y largo plazo, (3) Establecer un vínculo entre los usuarios y el personaje del video-juego.
- b) Imitar estrategias actuales de ayudas: (4) Representación de figuras de autoridad, (5) Combinando correspondencias de modo cruzado.
- c) Promover una buena postura: (6) Incrementando la conciencia de los movimientos atípicos, (7) Evitar modelar movimientos, (8) Fomentar un ambiente libre de estrés para reducir la ansiedad.

Con el objetivo de obtener un mejor entendimiento de la usabilidad y experiencia de uso de FarmerKeeper, así como encontrar los beneficios potenciales que puede ofrecer, se realizó una evaluación formativa (Capítulo 4). Durante la evaluación formativa se realizó un estudio intra-sujetos donde participaron 12 niños con autismo, 8 maestros/psicólogos de pasitos, y 1 terapeuta en neuroretroalimentación, comparando los resultados de FarmerKeeper con el uso de BrainCats, un video-juego BCI comúnmente utilizado en clínicas especializadas de neuroretroalimentación. Los participantes asistieron a dos sesiones de neuroretroalimentación (*i.e.*, una sesión por cada video-juego BCI) y contestaron cuestionarios para

evaluar diferentes aspectos de cada una de las sesiones de neuroretroalimentación. También al final del estudio se aplicó un cuestionario a los niños para conocer sus preferencias sobre los dos video-juegos BCI y se realizaron entrevistas a los maestros para obtener información que pudiera ayudar a explicar diferentes resultados obtenidos.

Los resultados de la evaluación formativa sugieren que los participantes encontraron FarmerKeeper más adecuado para apoyar sesiones de neuroretroalimentación que BrainCats. También, los resultados sugieren que los participantes y maestros encontraron a FarmerKeeper más divertido, fácil de usar, y atractivo que BrainCats. Los maestros percibieron una experiencia de juego positiva y agradable en ambos video-juegos BCI. Sin embargo, los participantes estaban más motivados y mostraron más emociones positivas y menos emociones negativas al utilizar FarmerKeeper que con BrainCats. Además, los maestros estuvieron de acuerdo en que ambos video-juegos BCI podrían tener beneficios potenciales para mejorar los problemas de atención, ya que los mantenían motivados y enfocados. Y particularmente, los maestros identificaron que los niños con autismo estaban menos ansiosos, seguían de mejor manera las reglas, y mejoraban su comportamiento al realizar transiciones entre actividades al utilizar FarmerKeeper. (ver Capítulo 4 (Mercado et al., 2018)).

Para evaluar la eficacia de FarmerKeeper, en términos de disminuir los problemas de atención de los niños con autismo, se realizó una evaluación sumativa (Capítulo 5). Durante la evaluación sumativa se realizó un estudio entre-sujetos, donde participaron 26 niños con autismo, 10 maestros/psicólogos de pasitos, y 2 terapeutas en neuroretroalimentación. La evaluación sumativa compara la eficacia de FarmerKeeper con el uso de Caricaturas al utilizarlos como apoyo en sesiones de entrenamiento de neuroretroalimentación para mejorar la atención de los niños con autismo. Los participantes se dividieron de manera aleatoria en dos grupos por cada condición (*i.e.*, FarmerKeeper y Caricaturas) y cada uno realizó 13 sesiones de neuroretroalimentación. Se realizaron mediciones de una prueba psicométrica y un cuestionario de atención incluyendo la medición pre-condición y post-condición en ambos grupos.

En general, los resultados de la evaluación sumativa muestran que los participantes que usaron FarmerKeeper mostraron una mejora ligeramente mayor en atención, estuvieron menos dispersos logrando un mejor control de la atención, y lograron una mejor atención sostenida (*i.e.*, bloques de atención), comparados con los participantes que usaron Caricaturas. Esto nos sugiere que las sesiones de neuroretroalimentación utilizando FarmerKeeper pueden impactar de una mejor manera, ayudando a mejorar la atención de los niños con autismo, en comparación al uso de Caricaturas durante las sesiones de neuroretroalimentación. Además de los impactos en atención, con el análisis de las entrevistas se

detectaron otros beneficios potenciales de las sesiones de neuroretroalimentación. Como son: (1) mejoras en la interacción social, el lenguaje y la comunicación, y (2) mejoras de comportamiento y un mejor autocontrol. Sin embargo, es necesario un estudio más detallado para poder evaluar de mejor manera estos beneficios potenciales y cuantificar el impacto de las sesiones de neuroretroalimentación en estos aspectos.

Con base en los resultados de las evaluaciones en conclusión se encontró que FarmerKeeper es una herramienta que mantiene el enganche y motivación de los niños con autismo durante las sesiones de neuroretroalimentación y que es adecuada para apoyar las sesiones de neuroretroalimentación. Además de ser una herramienta un poco más apropiada para los niños con autismo, en comparación a BrainCats y al uso de Caricaturas. A la vez de que es una herramienta más generalizable para los niños con autismo, ya que no está enfocada solo en ciertos gustos o intereses de unos cuantos niños, si no en una temática y actividad más general.

Desde un punto de vista técnico, en este trabajo se muestra evidencia sobre una buena usabilidad y experiencia de uso de un video-juego BCI (*i.e.*, FarmerKeeper) controlado mediante un dispositivo BCI comercial. Esto podría contribuir a reducir potencialmente los costos y barreras de la neuroretroalimentación tradicional, haciendo a la vez más accesibles este tipo de soluciones de neuroretroalimentación para poder realizarse en hogares y clínicas de niños con autismo. Y desde un punto de vista clínico, se muestra evidencia sobre como FarmerKeeper puede ser usado durante sesiones de neuroretroalimentación para disminuir los problemas de atención de los niños con autismo. Por lo que, los resultados de esta tesis muestran que los video-juegos BCI, diseñados según las necesidades de los niños con autismo, se asemejan y podrían mejorar algunas de las herramientas utilizadas actualmente como apoyo a las sesiones de neuroretroalimentación, y que este tipo de tecnología puede ayudar a los niños con autismo a disminuir sus problemas de atención.

6.2 Aportaciones

Las principales aportaciones de este trabajo son las siguientes:

- Evidencia empírica del uso de video-juegos BCI para apoyar las sesiones de neuroretroalimentación para niños con autismo con problemas de atención.

- Evidencia empírica de la eficacia y utilidad de un video-juego BCI diseñado tomando en cuenta las necesidades específicas de los niños con autismo, en comparación con el uso de herramientas tradicionales utilizadas en clínicas especializadas (*i.e.*, algunos video-juegos BCI diseñados para un público en general, y el uso de Caricaturas durante las sesiones de neuroretroalimentación); particularmente para disminuir los problemas de atención de los niños con autismo.
- Un conjunto de características de diseño para desarrollar video-juegos BCI en apoyo a las sesiones de neuroretroalimentación de niños con autismo.
- Un video-juego BCI (FarmerKeeper) que apoya las sesiones de neuroretroalimentación de niños con autismo enfocadas a disminuir sus problemas de atención.

Además, este trabajo de investigación dio como resultado el siguiente artículo publicado en una revista arbitrada:

- **Mercado, J.**, Espinosa-Curiel, I., Escobedo, L., & Tentori, M. (2019). Developing and evaluating a BCI video game for neurofeedback training: the case of autism. *Multimedia Tools and Applications*, 78(10), 13675-13712.

6.3 Limitaciones y suposiciones

Aunque la investigación cumplió los objetivos, se observaron algunas limitaciones, desde el punto de vista técnico, y metodológico.

Desde el punto de vista técnico, en términos de hardware, se utilizaron dispositivos BCI comerciales, y su eficacia y validez clínica aún es un tema que presenta controversia; sin embargo, el objetivo de utilizar este tipo de dispositivos en el trabajo presentado en esta tesis era evaluar el desempeño de éstos en un escenario concreto. Si bien aún no se puede comparar su eficacia con un equipo clínico especializados, el uso de dispositivos BCI comerciales puede ayudar hacer más accesibles y menos costosas las sesiones de neuroretroalimentación para niños con autismo, permitiendo utilizar este tipo de soluciones en hogares y clínicas de niños con autismo que no tienen un fácil acceso a equipo más costoso y especializado.

En términos de software, en el prototipo actual de FarmerKeeper suponemos que el algoritmo *eSense* del chip *ThinkGear*, que utilizan los dispositivos BCI Mindwave y BrainLink, proporciona medidas confiables al inferir la atención de sus usuarios. Se debe tomar en cuenta que esta inferencia es realmente una “aproximación” y ya que el algoritmo *eSense* no es de *código abierto* y su documentación no provee una explicación detallada sobre su diseño. Para nuestro caso en particular, dentro de la arquitectura de FarmerKeeper utilizamos el componente *OpenVibe* en lugar del API del dispositivo BCI para permitir a los usuarios cambiar manualmente la forma de obtener los valores de atención que servirán como entrada al video-juego BCI cuando sea necesario. Además, durante el desarrollo de FarmerKeeper, encontramos que al controlar la postura de los usuarios se podría reducir el ruido asociado con los movimientos de los usuarios. Sin embargo, no inferimos la postura de los usuarios, y se requiere más trabajo para proponer un método de detección robusto para evitar el ruido causado por los movimientos del usuario y una mala postura.

Desde el punto de vista metodológico, se debe tomar en cuenta que esta investigación se realizó en un solo centro psicopedagógico de niños con autismo, donde participaron 12 niños con autismo en la evaluación formativa y 26 en la evaluación sumativa. En el área de Interacción Humano Computadora se espera que un estudio de una investigación experimental tenga mínimo entre 30 y 40 usuarios para ser considerado válido (Lazar et al., 2017). Sin embargo, en investigaciones donde participan usuarios con alguna discapacidad generalmente es aceptable tener 15 o menos individuos en la investigación (Lazar et al., 2017). Por lo que, aunque el tamaño de la población en este estudio es menor al de estudios de usuarios en el área de Interacción Humano Computadora, es mayor a los estudios de usuario con personas con alguna discapacidad.

Otra limitación de este estudio es que solo nos enfocamos en utilizar las sesiones de neuroretroalimentación para ayudar a los niños con autismo a enfrentar sus problemas de atención; sin embargo, para tratar verdaderamente el autismo, las soluciones innovadoras deben enfocarse en atacar los síntomas centrales del autismo como son los problemas relacionados al lenguaje, las interacciones sociales y el comportamiento. Aunque este es un primer esfuerzo para proporcionar evidencia del potencial de los video-juegos BCI para apoyar a los niños con autismo, se deben explorar cómo tales soluciones podrían ser instrumentadas para ser utilizadas en un contexto terapéutico y clínico para el autismo.

En la evaluación formativa se siguió un experimento intra-sujetos, por lo que puede existir la limitación de un posible impacto en los efectos de aprendizaje de la segunda condición. Sin embargo, para evitar este

efecto de aprendizaje, se realizó una asignación aleatoria del orden en que los participantes usaron las condiciones.

En la evaluación sumativa se siguió un experimento entre-sujetos y la comparación de nuestras mediciones se realizó entre grupos. Ya que los participantes fueron asignados aleatoriamente a cada uno de los dos grupos del estudio, los resultados de cada grupo pudieran sesgarse debido a las diferencias individuales de los niños con autismo. Además, es difícil obtener resultados estadísticamente significativos ya que al dividir a nuestra población de participantes en dos grupos se reduce el número de participantes. Sin embargo, este enfoque nos permite ver cuáles son los efectos de cada condición y este tipo de experimentos es considerado un estándar para evaluar eficacia clínica y proveer evidencia sobre la eficacia de un tratamiento (Spieth et al., 2016). Por lo que, para obtener resultados estadísticamente más robustos, dado el tamaño de la muestra los estudios que se reportan en esta tesis se deben replicar con una población mucho más grande.

Se debe tener en cuenta que la prueba controlada aleatoria puede tener limitaciones en su validez interna, principalmente en términos de selección, desempeño y detección (Spieth et al., 2016). En términos de detección, en los estudios se utilizó una asignación aleatoria, sin embargo, se podría haber realizado un balance en términos a los problemas de atención para tener un mejor control en los grupos. En términos de desempeño, el estudio pudo verse afectado debido a la inasistencia de algunos participantes y días festivos/no laborables que se presentaron durante la intervención, por lo que, aunque se tenía planeado realizar las sesiones de neuroretroalimentación en días no consecutivos, y alternando un día de sesión y un día sin sesión, en ocasiones, había más de tres días de diferencia entre una sesión y otra, o días consecutivos para poder recuperar el día de inasistencia, sin embargo, se tomaron las medidas necesarias para que al final todos los participantes recibieran el mismo número de sesiones. En términos de detección, en algunas técnicas de captura de datos se usaron a las terapeutas como representantes de los niños con autismo, dado que es una población no verbal, por lo que los resultados pudieran estar sujetos a la interpretación del terapeuta y no necesariamente del niño. Además, dado que algunos datos cuantitativos fueron obtenidos con técnicas interpretativas, estos resultados tienen una variación en caso de ser replicado el experimento.

En cuanto a limitaciones que afecten la validez externa del estudio, esta investigación se realizó en un solo centro psicopedagógico de niños con autismo, en una sola ciudad y país, por lo que no se puede generalizar este estudio a otras poblaciones. Otro aspecto fueron los criterios de inclusión, en los cuales se tomó en

cuenta que todos los niños estuvieran diagnosticados con autismo y problemas de atención, que fueran capaces de seguir instrucciones y permanecer quietos el mayor tiempo posible.

Finalmente, en este estudio para realizar la comparación de FarmerKeeper, sólo se utilizó un video-juego BCI de los más utilizados en clínicas especializadas de neuroretroalimentación, así como el uso de un cierto tipo de Caricaturas que, a nuestro criterio, y el de los especialistas involucrados durante la realización de este trabajo de tesis, eran los más adecuados para hacer una comparación más justa. Sin embargo, se debe tomar en cuenta que los resultados podrían variar si se evalúa por ejemplo comparando con otro video-juego BCI y/o Caricaturas que estén personalizados a los gustos y preferencias de cada niño.

Dado que el objetivo del estudio era proporcionar evidencia sobre el uso potencial de FarmerKeeper en un caso particular, sentimos que nuestros resultados son valiosos para los investigadores que deseen desarrollar y evaluar video-juegos BCI para apoyar sesiones de neuroretroalimentación a individuos con problemas del neurodesarrollo, principalmente niños con autismo.

6.4 Trabajo futuro

Aunque aún existen muchos retos en el diseño, desarrollo y evaluación de video-juegos BCI para apoyar sesiones de neuroretroalimentación de niños con autismo, los resultados de los estudios de este trabajo de tesis muestran que existe potencial para continuar trabajando en este dominio.

Entre algunas de las propuestas a considerar como trabajo futuro, consideramos que para hacer más robusto el sistema se deben explorar algoritmos más confiables y robustos para medir la atención. Así como explorar soluciones invasivas y no invasivas, como el uso de algoritmos basados en visión para monitorear la postura de los usuarios al jugar el video-juego BCI y poder reducir de mejor manera los movimientos que puedan afectar y producir ruidos en las señales EEG medidas durante las sesiones.

También, cuando se diseñó FarmerKeeper encontramos que es importante permitir al usuario relacionarse fácilmente con el personaje del juego, y aunque FarmerKeeper permite algún tipo de personalización, quedan preguntas abiertas para investigar realmente cómo lograr una mejor conexión emocional entre el usuario y el personaje del juego (Turkay y Kinzer, 2014). Por lo que como trabajo futuro proponemos

investigar cómo el personaje del juego podría imitar los comportamientos y las emociones de los usuarios para lograr este nivel deseado de empatía con el personaje.

Además, se puede explorar el uso de otros dispositivos BCI de reciente incorporación en el mercado, así como el posible diseño de un dispositivo BCI personalizados a las necesidades de los niños con autismo.

Finalmente, se propone explorar el uso e impacto de video-juegos BCI para apoyar sesiones de neuroretroalimentación enfocadas en otros aspectos cognitivos de los niños con autismo; además de los problemas de atención. Con el fin de enfocarse en aspectos cognitivos relacionados directamente al lenguaje, las interacciones sociales y el comportamiento, que son los síntomas más característicos del autismo.

Literatura citada

- Alves, S. ., Marques, A. ., Queirós, C. ., Orvalho, V. . 2013. Lifeisgame: a serious game about emotions for children with autism spectrum disorders. *PsychNology Journal*, 11(3), 191–211.
- Aman, M. G., Farmer, C. A., Hollway, J., Arnold, L. E. 2008. Treatment of Inattention, Overactivity, and Impulsiveness in Autism Spectrum Disorders. *Child and Adolescent Psychiatric Clinics of North America*, 17(4), 713–738. doi:http://dx.doi.org/10.1016/j.chc.2008.06.009
- Aman, M. G., Langworthy, K. S. 2000. Pharmacotherapy for hyperactivity in children with autism and other pervasive developmental disorders. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, 30(5), 451–459. doi:10.1023/A:1005559725475
- American Psychiatric Association. 2013. Diagnostic and statistical manual of mental disorders, (DSM-5®). American Psychiatric Pub.
- Antshel, K. M., Zhang-James, Y., Wagner, K. E., Ledesma, A., Faraone, S. V. 2016. An update on the comorbidity of ADHD and ASD: a focus on clinical management. *Expert review of neurotherapeutics*, 16(3), 279–293.
- Bailey, R., Wise, K., Bolls, P. 2009. How Avatar Customizability Affects Children ' s Arousal and Subjective Presence During Junk Food – Sponsored Online Video Games. *Cyberpsychology & behavior*, 12(3), 277–283. doi:10.1089=cpb.2008.0292 How
- Baio, J., Wiggins, L., Christensen, D. L., Maenner, M. J., Daniels, J., Warren, Z., Kurzius-Spencer, M., Zahorodny, W., Rosenberg, C. R., White, T., others. 2018. Prevalence of autism spectrum disorder among children aged 8 years—autism and developmental disabilities monitoring network, 11 sites, United States, 2014. *MMWR Surveillance Summaries*, 67(6), 1.
- Bakhshayesh, A. R., Hänsch, S., Wyszkon, A., Rezai, M. J., Esser, G. 2011. Neurofeedback in ADHD: A single-blind randomized controlled trial. *European Child and Adolescent Psychiatry*, 20(9), 481–491. doi:10.1007/s00787-011-0208-y
- Bernardini, S., Porayska-Pomsta, K. 2013. Planning-Based Social Partners for Children with Autism. *Twenty-Third International Conference ...*, 362–370.
- Beyer, H., Holtzblatt, K. 1999. Contextual design. *Interactions*, 6(1), 32–42.
- Birk, M. V., Atkins, C., Bowey, J. T., Mandryk, R. L. 2016. Fostering Intrinsic Motivation through Avatar Identification in Digital Games. *Proceedings of the 2016 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems - CHI '16*, 2982–2995. doi:10.1145/2858036.2858062
- Brooke, J. 2013. SUS : A Retrospective. *Journal of Usability Studies*, 8(2), 29–40.
- Choon Guan Lim, B., Lee, T.-S., Guan, C., Shuen Sheng Fung, D., Bun Cheung, Y., Sze Wei Teng, S., Zhang, H., Ranga Krishnan, K., Guan Lim, C. 2010. Effectiveness of a Brain-Computer Interface Based Programme for the Treatment of ADHD: A Pilot Study. *Psychopharmacology Bulletin*, 4343(731), 73–82.

- Cibrian, F. L., Mercado, J., Escobedo, L., Tentori, M. 2018. A Step towards Identifying the Sound Preferences of Children with Autism. En Proceedings of the 12th EAI International Conference on Pervasive Computing Technologies for Healthcare, 2018, pp. 158–167. pp. 158–167.
- Cmiel, V., Janousek, O., Kolarova, J. 2011. EEG biofeedback. Proceedings of the 4th International Symposium on Applied Sciences in Biomedical and Communication Technologies - ISABEL '11, 1–5. doi:10.1145/2093698.2093752
- Coben, R., Linden, M., Myers, T. E. 2010. Neurofeedback for autistic spectrum disorder: A review of the literature. Applied Psychophysiology Biofeedback, 35, 83–105. doi:10.1007/s10484-009-9117-y
- Dickey, M. D. 2006. Game design narrative for learning: Appropriating adventure game design narrative devices and techniques for the design of interactive learning environments. Educational Technology Research and Development, 54(3), 245–263. doi:10.1007/s11423-006-8806-y
- Eikeseth, S. 2009. Outcome of comprehensive psycho-educational interventions for young children with autism. Research in Developmental Disabilities, 30, 158–178. doi:10.1016/j.ridd.2008.02.003
- Engine, U.-G. 2015. Unity technologies. Available: Unity Technologies.
- Escobedo, L., Tentori, M., Quintana, E., Favela, J., Garcia-Rosas, D. 2014. Using Augmented Reality to Help Children with Autism Stay Focused. IEEE Pervasive Computing, 13(1), 38–46. doi:10.1109/MPRV.2014.19
- Fan, J., McCandliss, B. D., Sommer, T., Raz, A., Posner, M. I. 2002. Testing the efficiency and independence of attentional networks. Journal of cognitive neuroscience, 14(3), 340–347.
- Fombonne, E., Marcin, C., Manero, A. C., Bruno, R., Diaz, C., Villalobos, M., Ramsay, K., Nealy, B. 2016. Prevalence of Autism Spectrum Disorders in Guanajuato, Mexico: The Leon survey. Journal of Autism and Developmental Disorders, 46(5), 1669–1685. doi:10.1007/s10803-016-2696-6
- Friese, S. 2014. Qualitative data analysis with ATLAS. ti. Sage.
- Garzotto, F., Gelsomini, M., Pappalardo, A., Sanna, C., Stella, E., Zanella, M. 2016. Using Brain Signals in Adaptive Smart Spaces for Disabled Children. Proceedings of the 2016 CHI Conference Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems - CHI EA '16, (Id), 1684–1690. doi:10.1145/2851581.2892533
- Gilliam, J. E. 1995. Attention-Deficit/Hyperactivity Disorder Test: A Method for Identifying Individuals with ADHD: Examiner's Manual. Pro-ed.
- Goldstein, G., Johnson, C. R., Minshew, N. J. 2001. Attentional Processes in Autism. Journal of Autism and Developmental Disorders, 31(4), 433–440. doi:10.1023/A:1010620820786
- Gómez-Pérez, E., Ostrosky-Solís, F., Próspero-García, O. 2003. Desarrollo de la atención, la memoria y los procesos inhibitorios: relación temporal con la maduración de la estructura y función cerebral. Revista de neurología, 37(6), 561–567.
- Grañana, N. E. 2009. Alteraciones de la atención en trastornos del espectro autista. Psicofarmacología - Editorial Scien, 57, 27–32.

- Greenspan, S. I., Wieder, S. 2009. Engaging autism: Using the floortime approach to help children relate, communicate, and think. Da Capo Press.
- Hallford, N., Hallford, J. 2001. Swords and Circuitry: A Designer's Guide to Computer Role-Playing Games. Premier Press, Incorporated.
- Hammond, D. C. 2011. What is Neurofeedback: An Update. *Journal of Neurotherapy*, 15(4), 305–336. doi:10.1080/10874208.2011.623090
- Hayes, G. R., Hirano, S., Marcu, G., Monibi, M., Nguyen, D. H., Yeganyan, M. 2010. Interactive visual supports for children with autism. *Personal and Ubiquitous Computing*, 14(7), 663–680. doi:10.1007/s00779-010-0294-8
- Hefner, D., Klimmt, C., Vorderer, P. 2007. Identification with the player character as determinant of video game enjoyment. *En Entertainment computing--ICEC 2007*. Springer. pp. 39–48.
- Heyvaert, M., Saenen, L., Campbell, J. M., Maes, B., Onghena, P. 2014. Efficacy of behavioral interventions for reducing problem behavior in persons with autism: An updated quantitative synthesis of single-subject research. *Research in Developmental Disabilities*, 35(10), 2463–2476.
- Holtmann, M., Steiner, S., Hohmann, S., Poustka, L., Banaschewski, T., Bölte, S. 2011. Neurofeedback in autism spectrum disorders. *Developmental Medicine and Child Neurology*, 53, 986–993. doi:10.1111/j.1469-8749.2011.04043.x
- Holtzblatt, K., Wendell, J. B., Wood, S. 2004. Rapid contextual design: a how-to guide to key techniques for user-centered design. Elsevier.
- Ibor, J. J. L., Association, A. P., others. 2001. DSM-IV-TR: manual diagnóstico y estadístico de los trastornos mentales: texto revisado. Masson.
- IJsselsteijn, W., Van Den Hoogen, W., Klimmt, C., De Kort, Y., Lindley, C., Mathiak, K., Poels, K., Ravaja, N., Turpeinen, M., Vorderer, P. 2008. Measuring the experience of digital game enjoyment. *En Proceedings of Measuring Behavior, 2008*, pp. 88–89. pp. 88–89.
- Keay-Bright, W. 2007. Can computers create relaxation? Designing ReacTickles© software with children on the autistic spectrum. *CoDesign*, 3(2), 97–110. doi:10.1080/15710880601143443
- Keehn, B., Müller, R. A., Townsend, J. 2013. Atypical attentional networks and the emergence of autism. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, 37(2), 164–183. doi:10.1016/j.neubiorev.2012.11.014
- Keizer, A. W., Verment, R. S., Hommel, B. 2010. Enhancing cognitive control through neurofeedback: A role of gamma-band activity in managing episodic retrieval. *NeuroImage*, 49(4), 3404–3413. doi:10.1016/j.neuroimage.2009.11.023
- Kim, S. K., Yoo, E. Y., Lee, J. S., Jung, M. Y., Park, S. H., Park, J. H. 2014. The Effects of Neurofeedback Training on Concentration in Children with Attention Deficit / Hyperactivity Disorder. *International Journal of Bio-Science & Bio-Technology*, 6(4), 13–23.
- Kouijzer, M. E J, de Moor, J. M. H., Gerrits, B. J. L., Buitelaar, J. K., van Schie, H. T. 2009. Long-term effects of neurofeedback treatment in autism. *Research in Autism Spectrum Disorders*, 3, 496–501. doi:10.1016/j.rasd.2008.10.003

- Kouijzer, Mirjam E J, van Schie, H. T., de Moor, J. M. H., Gerrits, B. J. L., Buitelaar, J. K. 2010. Neurofeedback treatment in autism. Preliminary findings in behavioral, cognitive, and neurophysiological functioning. *Research in Autism Spectrum Disorders*, 4(3), 386–399. doi:10.1016/j.rasd.2009.10.007
- Kreutzer, J. S., Caplan, B., DeLuca, J. 2011. *Encyclopedia of clinical neuropsychology*. New York: Springer.
- Laugwitz, B., Held, T., Schrepp, M. 2008. Construction and Evaluation of a User Experience Questionnaire. *HCI and Usability for Education and Work*, 63–76. doi:10.1007/978-3-540-89350-9_6
- Lazar, J., Feng, J. H., Hochheiser, H. 2017. *Research methods in human-computer interaction*. Morgan Kaufmann.
- Lee, K. 2009. Evaluation of Attention and Relaxation Levels of Archers in Shooting Process using Brain Wave Signal Analysis Algorithms. *Sci Sensitivity*, 12(3), 341–350.
- Leyfer, O. T., Folstein, S. E., Bacalman, S., Davis, N. O., Dinh, E., Morgan, J., Tager-Flusberg, H., Lainhart, J. E. 2006. Comorbid psychiatric disorders in children with autism: Interview development and rates of disorders. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, 36, 849–861. doi:10.1007/s10803-006-0123-0
- Lim, C. G., Lee, T. S., Guan, C. T., Fung, D. S. S., Zhao, Y. D., Teng, S. S. W., Zhang, H. H., Krishnan, K. R. R. 2012. A Brain-Computer Interface Based Attention Training Program for Treating Attention Deficit Hyperactivity Disorder. *Plos One*, 7, 8. doi:10.1371/journal.pone.0046692
- Lofthouse, N., Hendren, R., Hurt, E., Arnold, L. E., Butter, E. 2012. A review of complementary and alternative treatments for autism spectrum disorders. *Autism research and treatment*, 2012, 21. doi:10.1155/2012/870391
- Lubar, J. F. 1995. Neurofeedback for the management of attention-deficit/hyperactivity disorders. En Chapter in M. S. Schwartz (Ed.), *Biofeedback: A Practitioner's Guide*. New York, Guilford Press. pp. 493–522.
- Lubar, J. F., Bahler, W. W. 1976. Behavioral management of epileptic seizures following EEG biofeedback training of the sensorimotor rhythm. *Biofeedback and Self-Regulation*, 1(1), 77–104. doi:10.1007/BF00998692
- Mandryk, R. L., Dielschneider, S., Kalyn, M. R., Bertram, C. P., Gaetz, M., Doucette, A., Taylor, B. a., Orr, A. P., Keiver, K. 2013. Games as neurofeedback training for children with FASD. *Proceedings of the 12th International Conference on Interaction Design and Children - IDC '13*, 165–172. doi:10.1145/2485760.2485762
- Mandryk, R. L., Kalyn, M., Dang, Y., Doucette, A., Taylor, B., Dielschneider, S. 2012. Turning off-the-shelf games into biofeedback games. *Proceedings of the 14th international ACM SIGACCESS conference on Computers and accessibility - ASSETS '12*, 199. doi:10.1145/2384916.2384952
- Mandryk, R. L., Nacke, L. E., Mandryk, R. L. 2016. Biometrics in gaming and entertainment technologies. *Biometrics in a data driven world: Trends, technologies, and challenges*, 191–224.
- Mann, H. B., Whitney, D. R. 1947. On a test of whether one of two random variables is stochastically larger than the other. *The annals of mathematical statistics*, 50–60.

- May, T., Rinehart, N., Wilding, J., Cornish, K. 2013. The role of attention in the academic attainment of children with autism spectrum disorder. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, 43, 2147–2158. doi:10.1007/s10803-013-1766-2
- Mayes, S. D., Calhoun, S. L., Mayes, R. D., Molitoris, S. 2012. Autism and ADHD: Overlapping and discriminating symptoms. *Research in Autism Spectrum Disorders*, 6(1), 277–285. doi:10.1016/j.rasd.2011.05.009
- Mercado, J., Espinosa-curiel, I., Escobedo, L., Tentori, M. 2018. Developing and evaluating a BCI video game for neurofeedback training : the case of autism.
- Mesibov, G. B., Shea, V., Schopler, E. 2004. *The TEACCH approach to autism spectrum disorders*. Springer Science & Business Media.
- Mihajlovic, V., Grundlehner, B., Vullers, R., Penders, J. 2015. Wearable, wireless EEG solutions in daily life applications: What are we missing? *IEEE Journal of Biomedical and Health Informatics*, 19(1), 6–21. doi:10.1109/JBHI.2014.2328317
- Mirsky, A. F., Anthony, B. J., Duncan, C. C., Ahearn, M. B., Kellam, S. G. 1991. Analysis of the elements of attention: A neuropsychological approach. *Neuropsychology Review*, 2, 109–145. doi:10.1007/BF01109051
- Ocampo, L. P. L. 2009. La atención: un proceso psicológico básico. *Revista de la facultad de psicología universidad cooperativa de Colombia*, 5(8).
- Ochs, E., Kremer-Sadlik, T., Sirota, K. G., Solomon, O. 2004. Autism and the Social World: An Anthropological Perspective. *Discourse Studies*, Vol. 6. doi:10.1177/1461445604041766
- Patsis, G., Sahli, H., Verhelst, W., De Troyer, O. 2013. Evaluation of Attention Levels in a Tetris Game Using a Brain Computer Interface. En S. Carberry, S. Weibelzahl, A. Micarelli, & G. Semeraro (Eds.), *User Modeling, Adaptation, and Personalization*. Springer Berlin Heidelberg: Berlin, Heidelberg. pp. 127–138.
- Pineda, J. a., Brang, D., Hecht, E., Edwards, L., Carey, S., Bacon, M., Futagaki, C., Suk, D., Tom, J., Birnbaum, C., Rork, A. 2008. Positive behavioral and electrophysiological changes following neurofeedback training in children with autism. *Research in Autism Spectrum Disorders*, 2(3), 557–581. doi:10.1016/j.rasd.2007.12.003
- Pope, A. T., Palsson, O. S. 2001. Helping video games “rewire our minds”. *International Journal of Social Psychiatry*, 54, 370–382.
- Posner, M. I., Petersen, S. E. 1990. The attention system of the human brain. *Annual review of neuroscience*, 13, 25–42. doi:10.1146/annurev.ne.13.030190.000325
- Rauschenberger, M., Schrepp, M., Perez-Cota, M., Olschner, S., Thomaschewski, J. 2013. Efficient Measurement of the User Experience of Interactive Products. How to use the User Experience Questionnaire (UEQ). Example: Spanish Language Version. *International Journal of Interactive Multimedia and Artificial Intelligence*, 2(1), 39–45. doi:10.9781/ijimai.2013.215

- Read, J. C., MacFarlane, S. 2006. Using the fun toolkit and other survey methods to gather opinions in child computer interaction. En *Proceedings of the 2006 conference on Interaction design and children, 2006*, pp. 81–88. pp. 81–88.
- Rebolledo-Mendez, G., Dunwell, I., Martínez-Mirón, E. A., Vargas-Cerdán, M. D., de Freitas, S., Liarokapis, F., García-Gaona, A. R. 2009. Assessing NeuroSky's Usability to Detect Attention Levels in an Assessment Exercise. En J. A. Jacko (Ed.), *Human-Computer Interaction. New Trends*. Springer Berlin Heidelberg: Berlin, Heidelberg. pp. 149–158.
- Renard, Y., Lotte, F., Gibert, G., Congedo, M., Maby, E., Delannoy, V., Bertrand, O., Lécuyer, A. 2010. OpenViBE : An Open-Source Software Platform to Design , Test , and Use Brain – Computer Interfaces in Real and Virtual Environments. *Presence*, 19(1), 35–53. doi:10.1162/pres.19.1.35
- Rogers, S. J. 1996. Brief report: early intervention in autism. *Journal of autism and developmental disorders*, 26(2), 243–246.
- Schoneveld, E. A., Malmberg, M., Lichtwarck-Aschoff, A., Verheijen, G. P., Engels, R. C. M. E., Granic, I. 2016. A neurofeedback video game (MindLight) to prevent anxiety in children: A randomized controlled trial. *Computers in Human Behavior*, 63, 321–333. doi:10.1016/j.chb.2016.05.005
- Schwartz, M. S., Andrasik, F. 2017. *Biofeedback: A practitioner's guide*. Guilford Publications.
- Shapiro, S. S., Wilk, M. B. 1965. An analysis of variance test for normality. *Biometrika*, 52(3), 591–611.
- Southam-Gerow, M. A., Kendall, P. C. 2002. Emotion regulation and understanding: Implications for child psychopathology and therapy. *Clinical Psychology Review*, 22(2), 189–222. doi:10.1016/S0272-7358(01)00087-3
- Spence, C. 2011. Crossmodal correspondences: A tutorial review. *Attention, Perception, and Psychophysics*, 73(4), 971–995. doi:10.3758/s13414-010-0073-7
- Spieth, P. M., Kubasch, A. S., Penzlin, A. I., Illigens, B. M.-W., Barlinn, K., Siepmann, T. 2016. Randomized controlled trials--a matter of design. *Neuropsychiatric Disease and Treatment*, 12, 1341.
- Steiner, N. J., Frenette, E. C., Rene, K. M., Brennan, R. T., Perrin, E. C. 2014. Neurofeedback and cognitive attention training for children with attention-deficit hyperactivity disorder in schools. *Journal of Developmental and Behavioral Pediatrics*, 35(1), 18–27. doi:10.1097/DBP.000000000000009
- Strain, P. S., Schwartz, I. 2001. ABA and the Development of Meaningful Social Relations for Young Children with Autism. *Focus on Autism and Other Developmental Disabilities*, 16, 120–128. doi:10.1177/108835760101600208
- Strauss, A., Corbin, J. 1998. *Basics of qualitative research techniques*. Sage publications.
- Student. 1908. The probable error of a mean. *Biometrika*, 1–25.
- Tan, D., Nijholt, A. 2010. Brain-computer interfaces and human-computer interaction. En *Brain-Computer Interfaces*. Springer. pp. 3–19.
- Tang, S. T., McCorkle, R. 2002. Use of family proxies in quality of life research for cancer patients at the end of life: a literature review. *Cancer investigation*, 20(7–8), 1086–1104.

- Turkay, S., Kinzer, C. K. 2014. The Effects of Avatar-Based Customization on Player Identification. *International Journal of Gaming and Computer-Mediated Simulations*, 6(1), 1–25. doi:10.4018/ijgcms.2014010101
- van Steensel, F. J. a, Bögels, S. M., Perrin, S. 2011. Anxiety Disorders in Children and Adolescents with Autistic Spectrum Disorders: A Meta-Analysis. *Clinical Child and Family Psychology Review*, 14, 302–317. doi:10.1007/s10567-011-0097-0
- Vernon, D., Egnér, T., Cooper, N., Compton, T., Neilands, C., Sheri, A., Gruzeliér, J. 2003. The effect of training distinct neurofeedback protocols on aspects of cognitive performance. *International Journal of Psychophysiology*, 47(1), 75–85. doi:10.1016/S0167-8760(02)00091-0
- Wang, Q., Sourina, O., Nguyen, M. K. 2010. EEG-based “serious” games design for medical applications. *Proceedings - 2010 International Conference on Cyberworlds, CW 2010*, 270–276. doi:10.1109/CW.2010.56
- Weaver, B., Bédard, M., McAuliffe, J. 2013. Evaluation of a 10-minute version of the attention network test. *Clinical Neuropsychologist*, 27(8), 1281–1299. doi:10.1080/13854046.2013.851741
- Whyte, E. M., Smyth, J. M., Scherf, K. S. 2015. Designing Serious Game Interventions for Individuals with Autism. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, 45(12), 3820–3831. doi:10.1007/s10803-014-2333-1
- WILCOXON, F. 1946. Individual comparisons of grouped data by ranking methods. *Journal of economic entomology*, 39(6), 269. doi:10.1093/jee/39.2.269
- Wilkinson, N., Ang, R. P., Goh, D. H. 2008. Online video game therapy for mental health concerns: a review. *International journal of social psychiatry*, 54(4), 370–382.
- Witwer, A., Lecavalier, L. 2005. Treatment incidence and patterns in children and adolescents with autism spectrum disorders. *Journal of Child & Adolescent Psychopharmacology*, 15(4), 671–681.
- Yoon, H., Park, S.-W., Lee, Y.-K., Jang, J.-H. 2013. Emotion recognition of serious game players using a simple brain computer interface. *2013 International Conference on Information and Communication Technology Convergence, ICTC 2013*, October 14, 2013 - October 16, 2013, 783–786. doi:10.1109/ICTC.2013.6675478
- Zalapa, R., Tentori, M. 2013. Movement-Based and Tangible Interactions to Offer Body Awareness to Children with Autism. En G. Urzaiz, S. F. Ochoa, J. Bravo, L. L. Chen, & J. Oliveira (Eds.), *Ubiquitous Computing and Ambient Intelligence. Context-Awareness and Context-Driven Interaction*. Springer International Publishing: Cham. pp. 127–134.
- Zoefel, B., Huster, R. J., Herrmann, C. S. 2011. Neurofeedback training of the upper alpha frequency band in EEG improves cognitive performance. *NeuroImage*, 54(2), 1427–1431. doi:10.1016/j.neuroimage.2010.08.078

Anexos

Anexo 1: Ejemplo de formato de consentimiento

Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada
CONSENTIMIENTO PARA PARTICIPAR COMO SUJETO DE INVESTIGACION
Documento de consentimiento de los padres

Se le solicita su consentimiento para que su hijo participe en el estudio de investigación. La participación en este estudio es completamente voluntaria. Por favor lea la siguiente información y siéntase libre de preguntar cualquier cosa que no entienda antes de decidir si desea que su hijo participe. Los investigadores citados a continuación responderán sus preguntas.

EQUIPO DE INVESTIGACIÓN

José Mercado¹, Mónica Tentori², Lizbeth Escobedo³, Marina Alvelais⁴
Ciencias de la computación, CICESE^{1,2}, Biomedical Informatics, UC San Diego³, Psicología, Cetys,
Tijuana⁴
jmercado@cices.edu.mx¹, mtentori@cicese.mx², lizbeth.escobedo@gmail.com³,
marina.alvelais@cetys.mx⁴

PROPOSITO DEL ESTUDIO

El propósito del estudio de investigación es evaluar el uso de un juego serio (*FarmerKeeper*) desarrollado para apoyar terapias de neuroretroalimentación de niños con autismo. Con el objetivo de identificar posibles mejoras y cambios en el diseño del juego serio para ser utilizado durante sesiones de neuroretroalimentación aplicadas para disminuir los problemas de atención de niños con autismo.

Requerimientos

Su hijo es elegible para participar en este estudio si él o ella tiene un diagnóstico del TEA (Trastorno del Espectro Autista), es un estudiante en un salón de clases en Pasitos, y se siente seguro de que él o ella puede usar con seguridad un sistema para proporcionar terapias de neuroretroalimentación, y un dispositivo de Neurosky (similar a una banda deportiva o audífonos de diadema), actividad que se le notificará en qué consiste, como es y cuando se realizará.

PROCEDIMIENTOS

Como parte del estudio, antes de introducir el uso de cualquier sistema computacional en la comunidad de niños con autismo, es de suma importancia conocerla, entender sus problemas, habilidades y estrategias utilizadas para desempeñar terapias de atención y sesiones de neuroretroalimentación de niños con autismo.

El estudio se realizará durante 1 mes. Durante dos semanas y en coordinación con las maestras de pasitos su hijo realizará un proceso de sensibilización para utilizar un dispositivo de Neurosky que se utilizará en las siguientes sesiones. Este proceso consiste en utilizar una banda o diadema (similar a una banda deportiva o audífonos de diadema) un cierto tiempo durante sus actividades diarias en Pasitos, para que los niños se acostumbren de manera gradual a su uso. Posteriormente su hijo realizará dos sesiones de neuroretroalimentación y una sesión para aplicar una prueba de atención (en días diferentes y con una duración de 30 minutos cada una). Su hijo no será interrumpido durante las clases normales en Pasitos, ni sus clases ni actividades cambiarán. La información recopilada acerca de las sesiones y de las personas que participan en ellas será estrictamente confidencial, únicamente se utilizará para publicaciones referentes a este estudio, protegiendo en todo momento la identidad de su hijo. Posteriormente a este estudio los datos serán analizados por miembros del equipo de investigación.

Los estudiantes de entre 4 y 10 años de Pasitos con un diagnóstico del Desorden Autista como está definido por el *Diagnostic and Statistical Manual of Mental Disorders (DSM) V* y que puedan seguir instrucciones están invitados a participar en el estudio. Usted deberá notificar a los investigadores si cree que su hijo puede participar en el estudio. Los investigadores le describirán el estudio a su hijo y a sus maestros, permitiéndoles hacer las preguntas que crean necesarias. Como parte de la investigación se capturarán fotos y videos. Los datos que se capturen se utilizarán de tal forma que su hijo no sea identificable. Utilizaremos también algunos cuestionarios y entrevistas que se realizarán a las maestras, donde pretendemos tener un mejor entendimiento del uso de la tecnología desarrollada

RIESGOS E INCOMODIDADES

Debido a que el estudio se trata de recopilación y análisis de información, existe la posibilidad de una violación de la confidencialidad, sin embargo se tomarán medidas para proteger la confidencialidad de su hijo, por lo que tanto la probabilidad y el nivel de riesgo es bajo.

BENEFICIOS

Beneficios de la Investigación

Los beneficios potenciales para su hijo si participa en este estudio pueden incluir la experiencia de participar en una sesión de neuroretroalimentación que posteriormente puede ser utilizada para mejorar sus habilidades de atención.

Beneficios a Otros y a la Sociedad

Esperamos que lo que aprendamos aquí ayudará al equipo de investigadores a crear tecnología especializada en apoyo a los niños con autismo para que mejoren sus habilidades de atención. Esta tecnología tiene el potencial para mejorar la calidad de vida de esta comunidad autista y además de su familia y sus maestros.

COMPENSACION

Compensación por la Participación

No existirá algún tipo de compensación económica por la participación en este estudio.

TERMINACION DEL ESTUDIO Y CONSECUENCIAS

Su hijo es libre de dejar el estudio en cualquier momento. **Si él o ella decide dejar el estudio usted deberá avisar al equipo de investigación inmediatamente.**

CONFIDENCIALIDAD

Identificación de los datos

Durante la duración de la investigación se tomarán fotos y video de su hijo durante las sesiones de musicoterapia. Las grabaciones y fotografías serán de uso confidencial para la investigación y, únicamente con su autorización, posiblemente en un futuro serán compartidas con otros investigadores para fortalecer el conocimiento e incrementar el apoyo a ésta comunidad.

Acceso a Datos

Para proteger su seguridad y bienestar el equipo de investigación es el único que tiene la autorización de acceso a los datos, según los términos de confidencialidad mencionados. Cualquier información derivada de este proyecto de investigación que muestre su identidad o la de su hijo no será voluntariamente revelada por estos dos equipos (que tendrán acceso a los datos) sin su consentimiento explícito. Publicaciones y/o presentaciones que resulten de esta investigación no incluirán información que revele su identidad o la de su hijo.

Retención de los datos

El equipo de investigación mantendrá los datos que resulten de la investigación. Otros investigadores pueden tener acceso a los datos para futuras investigaciones.

Permiso para compartir datos con la audiencia en esta área

Pensando en los beneficios a la comunidad autista, el equipo de investigación probablemente en un futuro le gustaría compartir algunas fotos y/o videos captados durante el estudio con la audiencia de investigadores en esta área. Por favor indique a continuación si da su permiso para compartir las fotos y videos. Sí No _____ Sus iniciales

SI USTED TIENE ALGUNA PREGUNTA

Si tiene comentarios, dudas, preocupaciones con respecto a la forma en la que se llevará a cabo la investigación por favor contacte al equipo de investigación listado al inicio del presente documento.

ACUERDO DE PARTICIPACION VOLUNTARIA

Usted no debería firmar este documento a menos que lo haya leído. **La participación en este estudio es voluntaria.** Usted o su hijo puede negarse a contestar cualquier pregunta o suspender su participación en cualquier momento sin sanciones ni pérdida de beneficios a los que él o ella tendría derecho. Su decisión no afectará su relación futura con CICESE o la calidad de atención en Pasitos. Su firma indica que usted ha leído la información en este documento de consentimiento y ha tenido la oportunidad de hacer cualquier pregunta que tenga sobre el estudio.

Estoy de acuerdo de permitir a mi hijo participar en el estudio.

Firma del Padre/Tutor o Representante Legal Autorizado

Fecha

Nombre del Padre/Tutor o Representante Legal Autorizado

Nombre de su hijo

Firma del investigador

Fecha

Nombre del Investigador

Anexo 2: Cuestionario de Experiencia de Juego (GEQ) – Modulo núcleo del juego

Video-juego: _____

Nombre: _____

Instrucciones: para cada elemento indica cómo te sentiste mientras jugabas el juego (pensando que es el niño quien responde).

	De ningún modo	ligeramente	moderadamente	bastante	extremadamente
	0	1	2	3	4
1. Me sentí contento	<input type="radio"/>				
2. Me sentí hábil	<input type="radio"/>				
3. Me interesó la historia del juego (estaba interesado en la historia del juego)	<input type="radio"/>				
4. Pienso que fue divertido	<input type="radio"/>				
5. Me sentí completamente absorbido (ocupado) con el juego	<input type="radio"/>				
6. Me sentí feliz	<input type="radio"/>				
7. Me puso de mal humor	<input type="radio"/>				
8. Pensé en otras cosas	<input type="radio"/>				
9. Me pareció cansado	<input type="radio"/>				
10. Me sentí competente	<input type="radio"/>				
11. Pienso que fue difícil	<input type="radio"/>				
12. Fue estéticamente agradable	<input type="radio"/>				
13. Me olvidé de todo a mi alrededor	<input type="radio"/>				
14. Me sentí bien	<input type="radio"/>				
15. Sentí que era bueno en eso	<input type="radio"/>				
16. Me sentí aburrido	<input type="radio"/>				
17. Me sentí exitoso	<input type="radio"/>				
18. Me sentí imaginativo	<input type="radio"/>				

19. Sentí que podía explorar cosas	<input type="radio"/>				
20. Lo disfrute	<input type="radio"/>				
21. Fui rápido en alcanzar los objetivos del juego	<input type="radio"/>				
22. Me sentí molesto	<input type="radio"/>				
23. Me sentí presionado	<input type="radio"/>				
24. Me sentí irritable	<input type="radio"/>				
25. Perdí la noción del tiempo	<input type="radio"/>				
26. Me sentí desafiado	<input type="radio"/>				
27. Lo encontré impresionante	<input type="radio"/>				
28. Estuve profundamente concentrado en el juego	<input type="radio"/>				
29. Me sentí frustrado	<input type="radio"/>				
30. Se sintió como una rica experiencia	<input type="radio"/>				
31. Perdí conexión con el mundo exterior	<input type="radio"/>				
32. Sentí presión del tiempo	<input type="radio"/>				
33. Tenía que poner mucho esfuerzo en el juego	<input type="radio"/>				

Anexo 3: Cuestionario de Escala de Usabilidad del Sistema (SUS)

Evaluación del diseño de _____

Nombre: _____

Instrucciones: En una escala de 0 a 5 señale que tan de acuerdo o desacuerdo está con la oración:

	1	2	3	4	5
	Totalmente en desacuerdo	En desacuerdo	Neutral	De acuerdo	Totalmente de acuerdo
1. Pienso que me gustaría usar este sistema frecuentemente	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
2. Encontré el sistema innecesariamente complejo	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
3. Pienso que el sistema fue fácil de usar	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
4. Pienso que necesitaría el apoyo de una persona técnica para usar el sistema	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
5. Encontré las diferentes funciones del sistema bien integradas	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
6. Pienso que hubo demasiada inconsistencia en el sistema	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
7. Imagino que la mayoría de las personas aprenderían a usar el sistema rápidamente	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
8. Encontré el sistema muy incómodo de usar	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
9. Me sentí muy confiado usando el sistema	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
10. Necesito aprender muchas cosas antes de poder usar el sistema	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Anexo 4: Cuestionario de experiencia de uso (UEQ)

Evaluación del diseño de _____

Nombre: _____

Instrucciones: De acuerdo con el diseño que se está evaluando, señale el número más cercano a cómo describiría el diseño de acuerdo a las siguientes escalas:

	1	2	3	4	5	6	7		
desagradable	<input type="radio"/>	agradable	1						
no entendible	<input type="radio"/>	entendible	2						
creativo	<input type="radio"/>	sin imaginación	3						
fácil de aprender	<input type="radio"/>	difícil de aprender	4						
valioso	<input type="radio"/>	de poco valor	5						
aburrido	<input type="radio"/>	emocionante	6						
no interesante	<input type="radio"/>	interesante	7						
impredecible	<input type="radio"/>	predecible	8						
rápido	<input type="radio"/>	lento	9						
original	<input type="radio"/>	convencional	10						
obstructivo	<input type="radio"/>	impulsor de apoyo	11						
bueno	<input type="radio"/>	malo	12						
complicado	<input type="radio"/>	fácil	13						
repeler	<input type="radio"/>	atraer	14						
convencional	<input type="radio"/>	novedoso	15						
incómodo	<input type="radio"/>	cómodo	16						
seguro	<input type="radio"/>	inseguro	17						
activante	<input type="radio"/>	adormecedor	18						
cubre expectativas	<input type="radio"/>	no cubre expectativas	19						
ineficiente	<input type="radio"/>	eficiente	20						
claro	<input type="radio"/>	confuso	21						
no pragmático	<input type="radio"/>	pragmático	22						
ordenado	<input type="radio"/>	sobrecargado	23						
atractivo	<input type="radio"/>	feo	24						
simpático	<input type="radio"/>	antipático	25						
conservador	<input type="radio"/>	innovador	26						

Anexo 5: Protocolo de entrevista a maestro/psicólogo durante la evaluación formativa

Entrevista a maestro/psicólogo

*Resaltar que lo del sensor de seguimiento ocular es para el estudio y no tanto parte del sistema

Uso-Adopción

1. ¿Qué piensa que le agrada o desagrada al niño de los 2 juegos?
2. ¿Qué le gusta o desagrada de los 2 juegos?
3. ¿Cuál de las 2 actividades le gusto más y cuál menos al niño? ¿Por qué?
4. ¿Cómo reaccionó el niño a los estímulos visuales/auditivos? Ej. Sonidos animales, música de fondo, instrucciones (tranquilo, tu puedes), contador animales, pantalla borrosa por movimiento.
5. ¿Qué le gustaría cambiar/agregar a los juegos? Ej. Instrucciones positivas (muy bien, llevas muchos animales)

Eficacia

6. ¿Cómo impacta el Sistema en la terapia? Ej. Aspectos positivos y negativos, etapas de relajación y descanso
7. ¿Piensa que a largo plazo podría impactar en disminuir los problemas de atención del niño?
8. ¿Qué otro tipo de impactos considera que puede tener la terapia con el juego en el niño?

Motivación-Enganchamiento-Proactividad

9. ¿Cuál es la actitud del niño durante el uso de los 2 juegos?
10. ¿Qué tantas recompensas necesita el niño cuando utiliza los juegos?
11. ¿Qué tantas indicaciones necesita el niño?
12. ¿Cuál de los 2 sistemas considera que es más adecuado para realizar las terapias a largo plazo? Ej. Las terapias son por unos 2-3 meses, con sesiones de 2 veces por semanas de aprox. 20-30 min c/u
13. ¿Haría modificaciones para poder realizar estas terapias a largo plazo? ¿Cuáles? Ej. Monedas para poder personalizar el personaje, vueltas en el camino, paisaje (de los lados)

Sobre el dispositivo BCI

14. Comparar las dos diademas y un sistema tradicional. ¿Consideras que el uso sería el mismo con ambos dispositivos?
15. ¿Consideras que el proceso de sensibilización es necesario antes de poder realizar las terapias o se podría hacer conforme se va avanzando en las terapias?
16. ¿Algún otro comentario que te gustaría realizar?

Anexo 6: Cuestionario TDAH-P – Sub-prueba de inatención

Instrucciones: Indicar cuál de los siguientes comportamientos/características son un problema para este individuo.

Marcar 0 si el comportamiento no supone un problema o si no se observó dicho comportamiento. Marcar 1 si el ítem representa un comportamiento que supone un problema leve. Marcar 2 si el ítem se refiere a un comportamiento que suponga un problema grave para el sujeto.

Sub-prueba de Inatención

24. Pobre concentración	0	1	2
25. No finaliza proyectos	0	1	2
26. Es desorganizado	0	1	2
27. No tiene capacidad de planificación	0	1	2
28. Parece ausente	0	1	2
29. No presta atención	0	1	2
30. Dificultad para seguir instrucciones	0	1	2
31. Poca capacidad de atención	0	1	2
32. Se distrae fácilmente	0	1	2
33. Dificultad para mantener la atención	0	1	2
34. Dificultad para mantenerse en una actividad	0	1	2
35. Dificultad para completar tareas	0	1	2
36. Pierde cosas fácilmente	0	1	2

Total Inatención