

# Retos y oportunidades en el desarrollo de juegos serios con propósitos terapéuticos

## *Challenges and opportunities in the development of serious games for therapeutic purposes*

**Resumo** — La necesidad de nuevos tratamientos para el cuidado de la salud mental ha llevado al desarrollo de aplicaciones tecnológicas basadas en enfoques de juegos serios. Estos enfoques han facilitado el desarrollo de videojuegos serios basados en una interfaz cerebro computadora (ICC) para tratar el Trastorno por Déficit de Atención e Hiperactividad (TDAH). Estos videojuegos basados en ICC ofrecen entrenamiento cognitivo y de neuro retroalimentación a niños que viven con TDAH. Este artículo presenta una revisión sistemática del estado del arte actual sobre este tipo de sistemas tecnológicos. Como resultado de esta revisión, se han identificado algunos retos y oportunidades que los investigadores e ingenieros deben abordar para mejorar esta tecnología, la cual ha sido introducida recientemente en el área del cuidado de la salud.

**Palabras Clave** – juegos serios; Interfaz cerebro-computadora; EEG; TDAH.

**Abstract** — The need for new treatment in mental health care has led to the development of technological applications based on serious video game approaches. These approaches have facilitated the development of serious videogames based on a brain-computer interface (BCI) for dealing with Attention Deficit Hyperactivity Disorder (ADHD). These BCI-based videogames can offer cognitive and neurofeedback training to children living with ADHD. This paper presents a systematic review of the current state of the art of this kind of technological systems. As a result of this review, we identified challenges and opportunities that researchers and engineers must address to improve this recently introduced technology in healthcare.

**Keywords** – serious games; brain computer-interface; EEG; ADHD.

### I. INTRODUCCIÓN

El Trastorno por Déficit de Atención e Hiperactividad (TDAH) es un desorden psiquiátrico del desarrollo neuronal, el cual se caracteriza por exhibir niveles inapropiados de inatención, impulsividad e hiperactividad [1]. El TDAH es el diagnóstico de salud mental más común en niños, el cual afecta el estilo de vida de una gran población de entre el 5% y 7% a nivel mundial [2] [3]. Diversos estudios han demostrado que las personas con TDAH tienen una mayor probabilidad de sufrir otros trastornos psiquiátricos, deserción escolar, bajo rendimiento laboral, dificultad para mantener un trabajo, accidentes y conductas impulsivas de mayor riesgo, como el abuso de sustancias [2] [4]. No obstante, una intervención

temprana en la adolescencia permite que las personas con TDAH pueden tener una excelente calidad de vida [5].

En recientes años, han surgido tratamientos no farmacológicos, tales como intervenciones conductuales y entrenamientos cognitivos [6] [7] [8]. Estos tratamientos han sido una alternativa para evitar el uso de medicamentos en niños con TDAH. Adicionalmente, investigadores del área de Ciencias de la Computación y de la Salud Mental han estado trabajando en conjunto para desarrollar nuevos sistemas tecnológicos que puedan ser utilizados en el tratamiento del TDAH. Como ejemplo de estos nuevos sistemas podemos encontrar en la literatura una amplia variedad de aplicaciones como videojuegos basados en ICC [9] [10], realidad virtual [11], realidad aumentada [12] y robótica [13]. El desarrollo de estas aplicaciones orientadas a tratar el TDAH es relativamente nuevo en el área de la salud mental y hasta el momento se han realizado pocos estudios para determinar su eficacia en el tratamiento del TDAH.

Este artículo se enfoca en realizar una revisión sistemática sobre el estado actual de los videojuegos basados en ICC diseñados para apoyar las terapias de niños con TDAH. Los video juegos basados en ICC son juegos serios caracterizados por implementar una interfaz cerebro computadora (ICC) para que los participantes puedan interactuar con el juego sin necesidad de utilizar un teclado o joystick. Las interfaces cerebro-computadora comúnmente utilizadas en estos videojuegos son electroencefalogramas (EEG). Por otra parte, estos videojuegos también se caracterizan por incluir técnicas de neuro retroalimentación. De esta forma, los videojuegos basados en ICC pueden ayudar a mantener la motivación y atención de los niños con TDAH en las tareas a realizar durante una sesión de entrenamiento cognitivo. Para guiar la revisión sistemática de la literatura se plantearon las siguientes interrogantes:

1. ¿Cuál ha sido el proceso utilizado para evaluar el desempeño de los videojuegos basados en ICC?
2. ¿Existen retos y oportunidades para mejorar el desarrollo, impacto y beneficio de los videojuegos basados en ICC para apoyar a niños con TDAH?

Consideramos que estas preguntas de investigación pueden ser de utilidad para conocer la madurez y estado actual de estas tecnologías, así como identificar posibles limitaciones y futuras

direcciones para el desarrollo de estos videojuegos con propósitos terapéuticos.

El resto del artículo está estructurado de la siguiente forma: La Sección 2, una revisión sistemática del estado actual sobre el desarrollo de videojuegos serios basados en ICC para tratar el TDAH. La Sección 3, ofrece una breve discusión sobre los hallazgos encontrados en esta revisión del estado del arte. La sección 5, presenta una serie de retos y oportunidades que existen para mejorar el desarrollo de videojuegos serios orientados a apoyar a niños y adolescentes que viven con TDAH. Finalmente, la Sección 6, presenta las conclusiones de este trabajo de investigación.

## II. REVISIÓN SISTEMÁTICA DEL ESTADO DEL ARTE

### A. Estrategia de búsqueda

Para el desarrollo de la revisión sistemática de la literatura se utilizó la metodología de “*Elementos de informes preferidos para revisiones sistemáticas y meta-análisis*” (PRISMA, por sus siglas en inglés) [14]. Las bases de datos utilizadas para realizar la búsqueda de la literatura fueron: PubMed, la cual ofrece literatura desde una perspectiva médica; Engineering Village e IEEE Xplore, las cuales ofrecen literatura desde una perspectiva de ingeniería y Scopus, la cual ofrece literatura desde una perspectiva multidisciplinaria. La búsqueda de artículos fue limitada a 13 años, estableciendo como fecha de inicio enero de 2010 y fecha final diciembre de 2022. La Fig. 1 muestra el flujo que se siguió durante la aplicación de la metodología PRISMA, así como las palabras clave utilizadas para identificar los artículos más relevantes en cada una de las bases de datos descritas previamente. Con la intención de encontrar la literatura más relevante y actualizada sobre el tema de interés, se utilizaron palabras claves en inglés tale como: “ADHD” and “SERIOUS GAMES” and “BCI”; “ADHD” and “BRAIN-COMPUTER INTERFACE”; “ADHD” and “NEUROFEEDBACK” and “BCI”; “ADHD” and “VIDEOGAME” and “BCI”. Estas palabras clave fueron adaptadas a la interfaz de usuario que ofrecía cada una de las bases de datos consultadas.

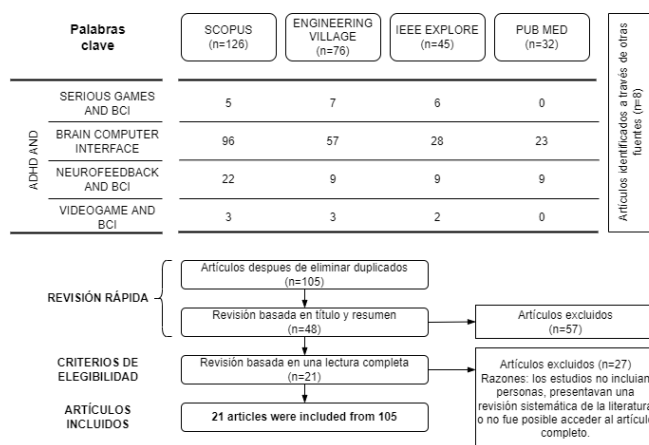


Figura 1. Diagrama de flujo de la metodología PRISMA.

### B. Criterios de elegibilidad

Los siguientes criterios de inclusión fueron considerados durante la revisión sistemática de la literatura:

1. Artículos que hayan sido publicados en revistas internacionales.
2. Artículos que hayan sido publicados en congresos internacionales.
3. Artículos escritos exclusivamente en inglés.
4. Artículos que describían la conceptualización, desarrollo, pruebas, o evaluación de videojuegos basados en ICC para su uso con personas con TDAH.

Adicionalmente, se consideraron los siguientes criterios de exclusión:

1. Artículos enfocados exclusivamente en el TDAH.
2. Artículos sobre videojuegos basados en ICC para su uso en personas con TDAH, pero sin haber identificado las condiciones de salud mental de los participantes.
3. Artículos que presentaban una revisión de la literatura.

### C. Revisión de artículos

El proceso de revisión rápida fue dividido en dos fases como se muestra en la Fig. 1. La primera fase consistió en eliminar todos los artículos duplicados identificando un total de 105 artículos. Posterior a ello, dos de los autores de este trabajo revisaron de manera independiente el título y resumen de los artículos restantes. Como resultado de este proceso se eliminaron 57 artículos y se mantuvieron 48 artículos. En la segunda fase, se realizó una lectura completa de los artículos que pasaron la primera fase para determinar si los artículos cumplían con los criterios de elegibilidad. Cualquier discrepancia entre las decisiones realizadas por los dos autores involucrados en este proceso de revisión fue resuelta consultando a un tercer autor.

### D. Resultados de la revisión sistemática

Como resultado del proceso de revisión, se concluyó que solo 21 artículos de un total de 105 artículos cumplieron con los criterios de elegibilidad. Estos 21 artículos fueron utilizados para conocer y estudiar las principales características de los videojuegos basados en ICC para apoyar a niños con TDAH. Esto permitió realizar un análisis de las características de cada uno de los videojuegos reportados en la literatura. Este análisis involucró identificar las ventajas y desventajas de cada videojuego, el entorno utilizado para probar los videojuegos y su aplicación en el área de la salud mental.

La tabla 1 muestra un resumen de los proyectos encontrados en la literatura sobre videojuegos basados en ICC. Estos proyectos de investigación se centran en el entrenamiento cognitivo tanto de personas sanas como de personas con TDAH. Comúnmente los videojuegos basados en una ICC son diseñados utilizando un enfoque de neuro retroalimentación. Por tal motivo, las señales principales de entrada de estos videojuegos provienen de la actividad bioeléctrica del cerebro humano. De esta forma, estos videojuegos buscan ofrecer una

alternativa o un complemento hacia los tratamientos convencionales utilizados en niños con TDAH. Los videojuegos basados en ICC tienen como principal objetivo mejorar diferentes funciones cognitivas, tales como: la atención, la concentración, la memoria espacial, la memoria de corto y largo plazo, así como algunas habilidades motoras (ej.

[15] [16] [17] [18]). Estos sistemas de entrenamiento cognitivo son comúnmente diseñados utilizando un enfoque lúdico donde los videojuegos basados en ICC ofrecen a los usuarios desafíos, misiones, objetivos e incluso diferentes niveles de complejidad para atrapar y mantener el interés y atención de los participantes.

TABLA I. ESTADO ACTUAL DE LOS VIDEOJUEGOS BASADOS EN ICC PARA TRATAR EL TDAH.

Fuente	Objetivo del artículo	Población objetivo	Datos de entrada	Entorno
[9]	Examinar la eficacia de combinar la memoria de trabajo, el control inhibitorio y la neuro retroalimentación en el entrenamiento cognitivo de niños con TDAH y TDAH subclínico.	Niños con TDAH y TDAH subclínico	Señales EEG.	Videojuego 2D diseñado para un solo jugador.
[15]	Comparar la terapia basada en videojuegos basados en una ICC contra el neuro retroalimentación y las terapias tradicionales para tratar el TDAH.	Niños con TDAH.	Señales EEG.	Videojuego 2D diseñado para un solo jugador.
[17]	Desarrollar un videojuego basado en una ICC que ofrezca diferentes niveles de complejidad a los usuarios con la intención de mejorar las habilidades cognitivas como nivel atencional, nivel de meditación y memoria espacial.	Personas con TDAH.	Señales EEG.	Videojuego 2D con distintos niveles de complejidad. Este videojuego fue diseñado para un solo jugador.
[18]	Desarrollar un sistema basado en un videojuego y una ICC para entrenar la atención sostenida en niños con TDAH.	Niños con TDAH.	Señales EEG.	Sistema con múltiples videojuegos 3D diseñados para un solo jugador.
[19]	Desarrollar un videojuego basado en una ICC para mejorar la atención de niños con TDAH presentando un entorno realista con distractores y una complejidad incremental.	Niños con TDAH.	Señales EEG.	Videojuego 2D y 3D diseñado para un solo jugador. El videojuego ofrece la posibilidad de incrementar el nivel de complejidad para los participantes.
[20]	Comparar los resultados de un videojuego basado en una ICC para el entrenamiento de la atención contra un grupo de control en relación a la mejora de los síntomas asociados con la inatención en niños con TDAH.	Niños con TDAH.	Señales EEG.	Videojuego 3D diseñado para un solo jugador.
[21]	Investigar los cambios restructurales de la red cerebral en niños con TDAH durante un periodo de 8 semanas de entrenamiento utilizando un videojuego basado en una ICC.	Niños con TDAH.	Señales EEG e imágenes por resonancia magnética (IRM)	Videojuego 3D diseñado para un solo jugador.
[22]	Proponer un videojuego basado en un EEG para mejorar la atención y la memoria de corto y largo plazo en niños con TDAH.	Niños con TDAH.	Señales EEG.	Videojuego 3D diseñado para un solo jugador. El videojuego ofrece la posibilidad de incrementar el nivel de complejidad para los participantes.
[23]	Desarrollar un videojuego basado en una ICC para observar las condiciones mentales de las personas con TDAH durante el entrenamiento atencional y la rehabilitación.	Personas con TDAH.	Señales EEG.	Videojuego 3D basado en realidad virtual y diseñado para un solo jugador.
[24]	Desarrollar un sistema basado en una ICC con dos videojuegos para mejorar el nivel de atención de personas que viven con TDAH mediante la lectura del potencial P300 y una retroalimentación.	Personas con TDAH.	Señales EEG.	Videojuego 3D basado en realidad virtual. El videojuego está diseñado para un solo jugador e incorpora distractores.
[25]	Analizar la eficacia de un sistema basado en juegos diseñado para ayudar a que los niños puedan gestionar y superar el TDAH.	Niños con TDAH.	Pantalla táctil.	Un mundo virtual 3D y una realidad mixta multisensorial para un solo jugador.

TABLA I. CONTINUA.

Fuente	Objetivo del artículo	Población objetivo	Datos de entrada	Entorno
[26]	Integrar una ICC con un videojuego serio para entrenar y fortalecer la capacidad de atención de los participantes mientras se monitorean sus niveles de atención.	Personas con TDAH.	Señales EEG.	Videojuego 3D diseñado para un solo jugador.
[27]	Evaluar la eficacia de la neuro retroalimentación en el entrenamiento de las funciones cognitivas en niños con TDAH.	Niños con TDAH.	Señales EEG.	Sistema para un solo usuario basado en la reproducción y pausa de una película según la lectura cerebral de potencias.
[28]	Investigar la eficacia en el tratamiento de niños con TDAH de los videojuegos basados en una ICC con niveles de dificultad.	Niños con TDAH.	Señales EEG.	Videojuego 3D diseñado para un solo jugador. El videojuego ofrece la posibilidad de incrementar el nivel de complejidad para los participantes.
[29]	Presentar un sistema de entrenamiento basado en videojuegos, el cual fue diseñado para analizar y mejorar las habilidades de lectura en niños con TDAH.	Niños con TDAH en primero y segundo grado.	Señales EEG.	Videojuego 2D diseñado para un solo jugador.
[30]	Investigar los efectos de utilizar un videojuego personalizado, el cual ofrece una neuro retroalimentación.	Niños con TDAH.	Señales EEG.	Videojuego 3D diseñado para un solo jugador.
[31]	Investigar la relación entre la dopamina y las señales de recompensa en la corteza cingulada anterior en niños con TDAH.	Niños con TDAH.	Señales EEG.	Videojuego 3D diseñado para un solo jugador.
[32]	Presentar el diseño y desarrollo de un videojuego enfocado a promover el aprendizaje conductual y las habilidades prosociales en niños con TDAH.	Niños con TDAH.	Señales EEG y teclado	Videojuego 2D y 3D diseñado para un solo jugador.
[33]	Estudiar el impacto de un videojuego basado en una ICC y neuro retroalimentación para la mejora de las habilidades de atención y cognición en personas sanas.	Personas sanas.	Señales EEG.	Videojuego 2D diseñado para un solo jugador.
[34]	Desarrollar un sistema basado en una ICC y un dron real para el entrenamiento y la concentración de niños y adolescentes con TDAH.	Niños y adolescentes con TDAH.	Señales EEG.	Controlar el vuelo de un dron real.
[35]	Presentar un videojuego aprobado por departamento de administración de alimentos y medicamentos del gobierno de Estados Unidos.	Niños de 8 a 12 años con TDAH.	Pantalla táctil.	Videojuego 3D diseñado para un solo jugador. El videojuego ofrece retos sensoriales y motores, así como retos relacionados con multi tareas, distractores, objetivos y obstáculos.

16 de los 21 videojuegos descritos en la Tabla I fueron diseñados tomando en consideración que los usuarios finales serían niños entre 7 y 13 años con TDAH. Mientras que el resto de los videojuegos incluidos en la Tabla I no tomaron en consideración la edad de los participantes como un aspecto relevante para el diseño de los videojuegos. Adicionalmente, se observó que los videojuegos ofrecen una amplia variedad de temas tales como: granjas, carreras, naves espaciales, bosques, rompecabezas, laberintos, drones y bajo el océano. Sin embargo, podrían surgir algunas preguntas que deberían ser analizadas en futuras investigaciones, tales como:

- ¿Se podría generar algún tipo de adicción por parte de los jugadores?

- ¿Cómo las habilidades adquiridas por jugar estos videojuegos podrían ser aplicados en la vida cotidiana?

La tabla II describe los tipos de estudios realizados en los proyectos descritos en la Tabla I. Dentro de la información que se presenta en la Tabla II, se resaltan algunas características y/o aspectos básicos de los participantes tales como edad, género y condiciones de salud mental. Finalmente, se presenta un resumen de los principales resultados obtenidos en cada uno de los proyectos reportados en la literatura.

TABLA II. ESTUDIOS Y RESULTADOS DE UTILIZAR VIDEOJUEGOS BASADOS EN ICC PARA TRATAR EL TDAH.

Fuente	Tipo de estudio	Participantes	Principales resultados
[9]	Estudio de eficacia.	44 niños diagnosticados con TDAH. De los cuales 31 eran hombres y 13 mujeres. Todos ellos, con una edad entre 7.3 a 12.8 años. Adicionalmente, participaron 41 niños no diagnosticado, pero con sospechas de TDAH. De los cuales 33 eran hombres y 8 mujeres. Todos ellos, con una edad entre 7.4 a 12.6 años.	Los resultados de este estudio ofrecieron evidencia de la eficacia de utilizar videojuegos basados en una ICC y con neuro retroalimentación para reducir los síntomas en los grupos de niños subclínicos y con TDAH después del entrenamiento cognitivo.
[15]	Estudio de eficacia.	26 niños con una edad promedio de 8 años ( $\pm 3.05$ ) y con TDAH. 13 niños fueron asignados aleatoriamente al grupo experimental y el resto fue asignado al grupo de control.	Los niños que siguieron una terapia usando el videojuego presentaron una mejora ligeramente más significativa en la atención, atención sostenida y control atencional con respecto a los niños que siguieron una terapia tradicional basada en dibujos animados.
[17]	Estudio de eficacia.	10 sujetos sanos entre 20 y 30 años.	Los resultados de este estudio mostraron que después de varias sesiones de entrenamiento, los participantes incrementaron su desempeño en el videojuego de un 74% a un 98%. Al mismo tiempo se observó que los participantes lograron reducir el tiempo que requerían para alcanzar ciertos niveles de concentración, los cuales eran necesarios para completar cada uno de los niveles que ofrecía el videojuego.
[18]	Estudio de eficacia.	Niños con TDAH entre 7 y 11 años.	Este estudio permitió la implementación de un sistema ICC basado en múltiples videojuegos para entrenar las habilidades cognitivas de espera, planeación, seguimiento de instrucciones y el logro de metas. Cuando este estudio fue publicado, el sistema aún se encontraba en la fase de pruebas con niños diagnosticados con TDAH. No obstante, los resultados preliminares con este sistema mostraron un decremento en los comportamientos impulsivos de los participantes.
[19]	Estudio de factibilidad.	11 participantes todos sanos entre 27.5 años ( $\pm 4.5$ ). 8 hombres y 3 mujeres.	Los resultados reportados en este estudio mostraron que la precisión de los participantes al realizar los ejercicios de entrenamiento cognitivo disminuía mientras que el tiempo para realizar el ejercicio incrementaba conforme avanzaban en los niveles que ofrecía el videojuego. Este comportamiento también se observó cuando aparecían distractores dentro del videojuego. No obstante, este estudio también mostró que los participantes podían alcanzar el mismo nivel de precisión en los niveles tanto básicos como complejos del videojuego una vez que los participantes lograban acostumbrarse al entorno ofrecido por el videojuego.
[20]	Estudio de eficacia.	172 niños con TDAH en el rango de 8.6 años ( $\pm 1.51$ ). 147 hombres y 25 mujeres.	Los resultados en este estudio mostraron que después de 8 semanas de terapia, tanto el grupo de participantes que utilizaron el videojuego como el grupo de control disminuyeron los síntomas clínicos de la falta de atención en la escala de clasificación del TDAH de 3.5 ( $\pm 3.97$ ) y 1.9 ( $\pm 4.42$ ), respectivamente. También se reportó que durante la terapia 11 niños experimentaron eventos adversos como dolor de cabeza, mareos, inquietud motora y problemas de atención. Estos malestares fueron clasificados de nivel medio a moderado.
[21]	Estudio neurocientífico.	66 niños con TDAH. 44 de los niños fueron involucrados en el entrenamiento con un videojuego y 22 niños conformaron el grupo de control.	Los resultados obtenidos en este estudio indican que el grupo de niños que utilizó el videojuego presentó una mejor reorganización de la red funcional cerebral de una configuración más regular a una más aleatoria con respecto a los niños del grupo de control. Particularmente, normalizando el procesamiento de redes de prominencia.
[23]	Estudio de factibilidad.	10 personas sanas de entre 19 y 40 años.	Como resultado de este trabajo se diseñó y desarrolló un videojuego basado en una ICC capaz de medir e interpretar las señales EEG relacionadas con la atención de los participantes.

TABLA II. CONTINUA.

Fuente	Tipo de estudio	Participantes	Principales resultados
[24]	Estudio de factibilidad.	5 personas saludables.	Los resultados reportados en este trabajo indican que el potencial P300 es útil para medir el nivel de atención de las personas al utilizar un videojuego con una ICC. Como resultado adicional de este trabajo se propuso un nuevo videojuego basado en una ICC.
[25]	Estudio de eficacia.	53 niños con TDAH en el rango de 9.98 años ( $\pm 1.85$ ). 13 mujeres y 40 hombres.	Los resultados reportados en este trabajo indican que 21 de los 53 niños con TDAH tuvieron un ligero aumento en sus niveles de atención después de utilizar el videojuego durante 8 semanas.
[26]	Estudio de factibilidad.	5 hombres sanos de 19 a 26 años y 4 personas (2 hombres y 2 mujeres) con TDAH de entre 18 y 23 años.	Los resultados reportados en este trabajo mostraron que el sistema utilizado fue capaz de alcanzar un 96% y 98% de precisión al clasificar los datos del EEG para detectar el estado de atención correcto durante las pruebas con personas sanas y personas con TDAH, respectivamente.
[27]	Estudio de eficacia.	26 niños con TDAH entre 7 y 12 años. 13 niños fueron asignados al grupo experimental y el resto fue asignado al grupo de control.	Los resultados obtenidos después de utilizar el videojuego mostraron que los participantes mejoraron su puntuación para medir su cociente de inteligencia. Además, los participantes mostraron una mejora en sus niveles de atención.
[28]	Estudio de eficacia.	10 niños con TDAH. 8 hombres y 2 mujeres de entre 7 y 12 años. 5 niños participaron en el grupo experimental y el resto en el grupo de control.	Después de que el grupo experimental recibió 20 sesiones de entrenamiento con el videojuego durante 10 semanas se observó que el nivel de inatención del grupo experimental decreció significativamente en relación con el grupo de control.
[29]	Estudio de eficacia.	5 niños con TDAH. Los niños eran de primero y segundo de primaria.	Los resultados reportados en este estudio indican que todos los participantes lograron una mejora en su capacidad de atención y una disminución en sus comportamientos hiperactivos. Adicionalmente, las pruebas de comprensión de lectura mostraron una mejora en la lectura en voz alta y la comprensión lectora después de concluir el entrenamiento cognitivo con el video juego.
[30]	Estudio de factibilidad.	9 niños diagnosticados con TDAH de entre 5 y 10 años.	Los resultados de este estudio mostraron la viabilidad de utilizar un videojuego basado la técnica de neuro retroalimentación y una ICC de bajo costo para trabajar la atención sostenida en niños con TDAH.
[31]	Estudio neurocientífico.	105 niños con TDAH de entre 8 y 13 años.	Los resultados reportados en este estudio sugieren que la disrupción en la interfaz entre la corteza cingulada anterior y la dopamina pueden ser la base de las deficiencias en el control motivacional observado en el TDAH infantil.
[32]	Estudio de usabilidad.	42 niños con TDAH entre 8 y 11 años, con una media de 9.4 años.	Los hallazgos de usabilidad reportados en este estudio indicaron que los niños con TDAH mostraron una aceptación positiva al videojuego utilizado en este estudio. Adicionalmente, los investigadores obtuvieron recomendaciones por parte de los padres y niños con TDAH para mejorar el videojuego.
[33]	Estudio de eficacia.	16 participantes sanos. 8 participantes utilizaron el videojuego (3 mujeres y 5 hombres de entre 27 y 32 años, con una media de 29.6 años) y el resto de los participantes formaron el grupo de control (2 mujeres y 8 hombres entre 24 y 30 años, con una media de 27.1 años)	Los resultados reportados en este trabajo indicaron que el utilizar un videojuego basado en una ICC y neuro retroalimentación permitió mejorar el umbral de atención de todos los participantes del grupo experimental. Sin embargo, el incremento del umbral de atención fue distinto para cada participante.
[34]	Estudio de funcionalidad y usabilidad.	10 niños sanos entre 7 y 14 años.	En este trabajo se propuso un videojuego basado en una ICC para controlar el vuelo de un dron real. Los participantes utilizaron el videojuego propuesto en este trabajo llamado CogniDron-EEG y otro videojuego llamado Nexus. Los resultados reportados en este trabajo sugieren que los participantes estuvieron satisfechos con el uso de sistema CogniDron-EEG.
[35]	Estudio de eficacia.	Se evaluaron 857 niños de entre 8 y 12 años. Todos diagnosticados con TDAH y sin consumo de medicamentos relacionados con el	Los estudios clínicos realizados en este trabajo sugieren que los niños con TDAH lograron mejorar sus niveles de atención después de utilizar el videojuego durante cuatro semanas. Adicionalmente, se observó en este estudio que un tercio de los niños que usaron el videojuego dejaron

		TDAH. 348 niños fueron asignados de manera aleatoria al grupo de control y otros 348 niños fueron asignados de manera aleatoria al grupo experimental.	de presentar un déficit de atención que pudiera ser medible.
--	--	--	--

3 tipos de pruebas fueron identificadas en los estudios de eficacia (i) pruebas que involucraban solo un grupo experimental con niños con TDAH [18] [29], (ii) pruebas que involucraban solo un grupo experimental pero de personas sanas [17] [33] y (iii) pruebas que involucraban niños con TDAH, quienes fueron divididos en un grupo experimental y un grupo de control para comparar los resultados obtenidos en ambos grupos [9] [15] [20] [25] [27] [28]. También observamos que el 50% involucró más de 50 niños con TDAH, mientras que el resto de los estudios involucraron entre 20 y 26 niños con TDAH. Más aún, observamos que la mayoría de los estudios de factibilidad involucraron personas sanas en lugar de participantes con TDAH. Esto se debe a que los sistemas propuestos en dichos estudios aún se encuentran en las primeras etapas de desarrollo y pruebas.

### III. DISCUSIÓN

Esta revisión sistemática de videojuegos contralados por una ICC para apoyar a niños con TDAH fue desarrollada desde una perspectiva interdisciplinaria. Por lo tanto, los resultados presentados en este trabajo se centran en resaltar información relevante para las áreas de ingeniería y de la salud mental. Por ejemplo, la Tabla I presenta información relevante para el área de ingeniería. Esta información resalta el objetivo de cada videojuego desarrollado, el usuario final al que va dirigida cada aplicación, los datos o señales de entrada, así como las características del videojuego. Se propuso tres grupos o categorías para clasificar los videojuegos encontrados en la literatura. El primer grupo incluye los videojuegos diseñados para apoyar las terapias de rehabilitación de sujetos con TDAH. La mayoría de los videojuegos encontrados en la literatura pertenecen a este grupo. El segundo grupo incluye a los videojuegos diseñados para realizar investigación en el área de neurociencias con niños con TDAH y el tercer grupo incluye a los videojuegos enfocados a apoyar en el diagnóstico del TDAH. Sin embargo, no fue posible identificar en la literatura algún tipo de videojuego diseñado para esta tarea de apoyar en el diagnóstico del TDAH. Con respecto a las características de los videojuegos encontramos, identificamos los siguientes entornos (listado en orden de preferencia): entornos 3D, entornos 2D, realidad virtual, realidad mixta. Todos los videojuegos fueron diseñados para ser operados por un solo usuario y/o jugador. Es decir, no consideraban un enfoque multiusuario o multijugador dada las características cognitivas del usuario final. Adicionalmente, se identificó que algunos videojuegos ofrecían distintos niveles de complejidad para el usuario.

En la Tabla II se ofrece información sobre las principales características de los participantes involucrados en las pruebas de cada videojuego, tales como: el número de participantes, su género, edad promedio, así como las condiciones de salud mental de los participantes. Se observó que a pesar de que todos los videojuegos habían sido diseñados para ser utilizados

por niños y/o adultos con TDAH, algunas pruebas solo involucraron sujetos sanos. Esto se debe a dos aspectos principales que son el objetivo de las pruebas y el nivel de madurez de la aplicación. Los principales objetivos de las pruebas fueron: pruebas de factibilidad o viabilidad para su uso como una herramienta tecnológica de apoyo en terapias, pruebas de usabilidad, pruebas funcionales, pruebas de neurociencias y pruebas de eficacia. Estos dos últimos tipos de prueba fueron desarrollados en entornos reales con personas con TDAH. Esto permitió dar respuesta a nuestra primera pregunta de investigación donde nos cuestionábamos ¿cuál ha sido el proceso utilizado para evaluar el desempeño de los videojuegos basados en ICC? No obstante, la mayoría de los videojuegos encontrados en la literatura aún se encuentran en las fases de desarrollo y pruebas de calidad del software. Solamente se identificaron dos videojuegos denominados Focus Pocus [9] y EndeavorRx [35], las cuales ya se encuentran en el mercado y ya han sido utilizadas de manera amplia en el tratamiento de niños con TDAH.

Finalmente, durante la revisión sistemática de la literatura identificamos un conjunto de retos y por ende oportunidades para desarrollar videojuegos para niños con TDAH más flexibles, los cuales puedan ser reconfigurados y personalizados de acuerdo a las características de cada individuo. Estos retos y oportunidades son descritos con mayor detalle en la siguiente sección.

### IV. RETOS Y OPORTUNIDADES

En esta sección se describen los retos identificados durante la revisión sistemática de la literatura sobre el desarrollo de videojuegos enfocados a apoyar a niños con TDAH. Estos retos también representan una oportunidad para mejorar la calidad de las aplicaciones desarrolladas en el ámbito de la salud mental, específicamente en el área del TDAH. En términos generales, los retos identificados están relacionados con: (i) el diseño de sistemas para tratar los diferentes tipos de TDAH y (ii) problemas asociados a la adaptación de los ejercicios de entrenamiento con base a las características de los usuarios (pacientes con TDAH). Adicionalmente, se identifican algunas cuestiones éticas relacionadas con la certificación y uso de estos sistemas en entornos reales.

#### A. Diseño de videojuegos

Los síntomas presentados por un niño con TDAH pueden variar con respecto a los síntomas presentados por otro niño con TDAH. Esto se debe a que existen tres diferentes subtipos de TDAH [36]. El primer subtipo se caracteriza por presentar principalmente problemas de atención, el segundo subtipo se caracteriza por presentar principalmente comportamientos hiperactivos e impulsivos, mientras que el tercer subtipo se caracteriza por presentar una combinación de problemas de atención e hiperactividad. Adicional a estos problemas que condicionan el diseño de los videojuegos se tiene que tomar en

consideración que las personas que tienen TDAH comúnmente pueden presentar otros trastornos, tales como el trastorno del espectro autista (TEA) [37], trastorno negativista desafiante (TND) [38] y problemas de ansiedad [39]. Por lo tanto, desarrollar un videojuego para su uso por niños con diferentes subtipos de TDAH representa tanto un reto como una oportunidad para diseñar y desarrollo de videojuegos capaces de adaptarse a las necesidades de los usuarios (pacientes con TDAH).

#### *B. Personalizar los ejercicios de entrenamiento cognitivo*

Personalizar los ejercicios de entrenamiento cognitivo con base a las características y comportamiento conductual exhibido de cada usuario es un reto complejo para los ingenieros e investigadores en el diseño de sistemas generales basados en videojuegos para tratar el TDAH. Esto se debe a diferentes factores que se debe considerar al momento del diseño del sistema, tales como: los subtipos de TDAH que pueden presentar los usuarios [36], el nivel de TDAH del usuario, el cual puede ir de moderado a severo [40], las preferencias de cada usuario, las cuales pueden estar condicionadas por la edad, género, experiencias previas y estilo de vida de las personas con TDAH [41], así como una mala adaptación o aceptación de la tecnología por parte de los usuarios lo que conduce a estados de frustración durante las sesiones de entrenamiento cognitivo [42], entre otros factores asociados al neurodesarrollo de los niños con TDAH, los cuales deberían ser considerados al momento de trabajar en el diseño del videojuego para ofrecer una experiencia agradable y satisfactoria a los usuarios.

#### *C. Capturar y mantener la atención de los usuarios*

Tanto los investigadores como los ingenieros que trabajan en el diseño de videojuegos como herramientas para apoyar a niños con TDAH coinciden en que uno de los aspectos más importantes al momento de diseñar un videojuego es lograr crear un videojuego capaz de capturar y mantener la atención de los niños con TDAH durante todo el tiempo que dure la terapia, la cual puede ir de dos a tres meses y varias de una a dos sesiones por semana [33] [36]. Los resultados publicados en la literatura sugieren que los niños que la atención y motivación de los niños va disminuyendo conforme se avanza en las sesiones de entrenamiento. El principal motivo que los usuarios han expresado es que después de utilizar el sistema durante varias sesiones de entrenamiento, éste se vuelve rutinario y repetitivo [9]. No obstante, los investigadores en el área de gamificación de sistemas ven una oportunidad para aplicar dicho enfoque en este tipo de aplicaciones [43].

#### *D. Estudios de largo plazo o longitudinales*

Los videojuegos basados en una ICC y neuro retroalimentación reportados en la literatura se clasifican así mismos como herramientas computacionales que pueden ser de utilidad para el tratamiento del TDAH. Sin embargo, la mayoría de estos sistemas han sido probados con grupos pequeños, es decir, con pocos niños como participantes en las pruebas y/o experimentos (generalmente menos de 20 participantes). Adicionalmente, las pruebas realizadas con estos sistemas también se caracterizan por considerar pocas sesiones de entrenamiento cognitivo antes de generar un reporte preliminar de los resultados arrojadas por el sistema.

Esto se debe a que el probar los sistemas reportados en la literatura con niños con TDAH suele ser un gran desafío. La primera dificultad que enfrentan los investigadores está relacionada con el reclutamiento de niños con TDAH, mientras que la segunda dificultad está asociada con el interés y perseverancia tanto de los padres como de los niños para asistir a todas las sesiones de entrenamiento cognitivo definidas como parte de las pruebas para determinar la eficacia real de cada sistema. Por lo tanto, es indispensable realizar estudios de largo plazo o longitudinales con el propósito de documentar los cambios que surjan a lo largo del tiempo. Este tipo de estudios de largo plazo pudieran proporcionar información más fiable y precisa sobre la eficacia de estos sistemas para tratar el TDAH.

#### *E. Certificación*

La poca evidencia encontrada en la literatura sugiere que los sistemas basados en videojuegos con una ICC y neuro retroalimentación tienen un gran potencial para disminuir los síntomas asociados al TDAH. Si embargo, son pocos los sistemas que cuentan con una certificación para que puedan ser utilizados de manera legal por médicos en el entrenamiento cognitivo de niños con TDAH. Ejemplo de ello, son los sistemas reportados en [9] y [35]. Por lo tanto, es necesario que los demás sistemas reportados en la literatura alcancen un nivel de madurez suficiente para sean evaluados apropiadamente para su certificación y uso en clínicas y hospitales.

### **V. CONCLUSIONES**

La revisión sistemática de la literatura nos permitió conocer el estado actual de los videojuegos basados en una ICC y neuro retroalimentación como herramienta potencial para tratamiento de los síntomas asociados al TDAH. De los trabajos encontrados en la literatura, identificamos 19 videojuegos basados en una ICC y 2 videojuego basado en una pantalla táctil. De acuerdo con el propósito de estos sistemas, se clasificaron en tres categorías: sistemas para el diagnóstico del TDAH, sistemas para el tratamiento del TDAH y sistemas para el estudio del cerebro de personas con TDAH. No obstante, la mayoría de los sistemas reportados en la literatura pertenecen a la segunda categoría, la cual se enfoca a tratar los síntomas del TDAH, se encontraron pocos sistemas pertenecientes a la tercera categoría relacionada con el estudio del cerebro de personas con TDAH y desafortunadamente, no se logró identificar algún sistema perteneciente a la primera categoría asociada al diagnóstico del TDAH.

Por otra parte, los resultados reportados en la literatura muestran el potencial de estos sistemas para apoyar los tratamientos no farmacológicos para tratar el TDAH. No obstante, la comunidad de investigadores enfocada en desarrollar estas tecnologías está de acuerdo en que se deben realizar más estudios con la intención de identificar tanto las ventajas como desventajas de utilizar estos sistemas en entornos reales. Por ejemplo, algunos estudios han mostrado efectos positivos en niños con TDAH cuando han interactuado con estos sistemas. Algunos de estos efectos positivos son: una rápida aceptación de la tecnología, una mejor disposición para participar en las sesiones de entrenamiento cognitivo,



experiencias positivas de los usuarios con respecto a estos novedosos sistemas y una mejora relevante de las funciones cognitivas de las personas que han sido tratadas con estos sistemas. No obstante, también han identificado que a un grupo pequeño de niños han tenido malas experiencias o algún tipo de frustración al usar estas tecnologías basadas en videojuegos con ICC. Estos hallazgos negativos pudieran sugerir que no todas las personas con TDAH pudieran ser candidatos para usar este tipo de sistemas. Finalmente, como resultado de esta revisión sistemática podemos resaltar el conjunto de retos y por ende oportunidades para desarrollar sistemas flexibles, que puedan ser reconfigurados y personalizados con base a las características de cada usuario (paciente) con la finalidad de ofrecer la mejor experiencia a los usuarios. Esperamos que esta revisión de la literatura pueda guiar el desarrollo de videojuegos futuros basados en una ICC y neuro retroalimentación para apoyar a los niños con TDAH.

#### AGRADECIMIENTOS

Agradecemos al Consejo Estatal de Ciencia y Tecnología de Jalisco (COECyTJAL) y a la Universidad de Guadalajara por el apoyo económico otorgado para el desarrollo de este proyecto de investigación.

#### REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICA

- [1] M. Hoogman, M. Stolte, M. Baas y E. Kroesbergen, «Creativity and ADHD: A review of behavioral studies, the effect of psychostimulants and neural underpinnings,» *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, vol. 119, pp. 66-85, 2020.
- [2] Y. Luo, D. Weibman, J. M. Halperin y X. Li, «A review of heterogeneity in attention deficit/hyperactivity disorder (ADHD),» *Frontiers in human neuroscience*, vol. 13, p. 406779, 2019.
- [3] J.-A. Cervantes, S. López, J. Molina, F. López, M. Perales-Tejeda y J. Carmona-Frausto, «CogniDron-EEG: A system based on a brain-computer interface and a drone for cognitive training,» *Cognitive Systems Research*, vol. 78, pp. 48-56, 2023.
- [4] T. P. Beauchaine, I. Ben-David y M. Bos, «ADHD, financial distress, and suicide in adulthood: A population study,» *Science advances*, vol. 6, n° 40, p. eaba1551, 2020.
- [5] L. G. Leahy, «Diagnosis and treatment of ADHD in children vs adults: What nurses should know,» *Archives of psychiatric nursing*, vol. 32, n° 6, pp. 890-895, 2018.
- [6] M. R. Jones, B. Katz, M. Buschkuehl, S. M. Jaeggi y P. Shah, «Exploring n-back cognitive training for children with ADHD,» *Journal of attention disorders*, vol. 24, n° 5, pp. 704-719, 2020.
- [7] L. E. Knouse y A. P. Fleming, «Applying cognitive-behavioral therapy for ADHD to emerging adults,» *Cognitive and Behavioral Practice*, vol. 23, n° 3, pp. 300-315, 2016.
- [8] M. L. Wolraich, E. Chan, T. Froehlich, R. L. Lynch, A. Bax, S. T. Redwine, D. Ihyembe y J. F. Hagan, «ADHD diagnosis and treatment guidelines: a historical perspective,» *Pediatrics*, vol. 144, n° 4, 2019.
- [9] S. J. Johnstone, S. J. Roodenrys, K. Johnson, R. Bonfield y S. J. Bennett, «Game-based combined cognitive and neurofeedback training using Focus Pocus reduces symptom severity in children with diagnosed AD/HD and subclinical AD/HD,» *International Journal of Psychophysiology*, vol. 116, pp. 32-44, 2017.
- [10] V. Bravou y A. Drigas, «BCI-based games and ADHD,» *Research, Society and Development*, vol. 10, n° 4, pp. e52410413942-e52410413942, 2021.
- [11] P. M. a. M. K. Emmelkamp, «Virtual reality therapy in mental health,» *Annual review of clinical psychology*, vol. 17, pp. 495-519, 2021.
- [12] C. Tosto, T. Hasegawa, E. Mangina, A. Chifari, R. Treacy, G. Merlo y G. Chiazese, «Exploring the effect of an augmented reality literacy programme for reading and spelling difficulties for children diagnosed with ADHD,» *Virtual Reality*, vol. 25, pp. 879-894, 2021.
- [13] J. Berrezueta-Guzman, V. E. Robles-Bykbaev, I. a. P.-A. F. Pau y M.-L. Martín-Ruiz, «Robotic Technologies in ADHD Care: Literature Review,» *IEEE Access*, vol. 10, pp. 608-625, 2021.
- [14] R. Sarkis-Onofre, F. Catalá-López, E. Aromataris y C. Lockwood, «How to properly use the PRISMA Statement,» *Systematic Reviews*, vol. 10, pp. 1-3, 2021.
- [15] J. Mercado, L. Escobedo y M. Tentori, «A BCI video game using neurofeedback improves the attention of children with autism,» *Journal on Multimodal User Interfaces*, vol. 15, pp. 273-281, 2021.
- [16] M. Sagiadinou y A. Plerou, «Brain-Computer Interface Design and Neurofeedback Training in the Case of ADHD Rehabilitation,» de *GeNeDis 2018: Computational Biology and Bioinformatics*, Springer, 2020, pp. 217-224.
- [17] M. U. G. Khan, Z. Naz, J. Khan, T. Saba, I. Abunadi, A. Rehman y U. Tariq, «Cognitive skill enhancement system using neuro-feedback for ADHD patients,» *CMC-Comp. Mater. Continua*, vol. 68, pp. 2363-2376, 2021.
- [18] J. E. Muñoz, D. S. Lopez, J. F. Lopez y A. Lopez, «Design and creation of a BCI videogame to train sustained attention in children with ADHD,» de *2015 10th Computing Colombian Conference (10CCC)*, IEEE, 2015, pp. 194-199.
- [19] A. Ali y S. Puthusserypady, «A 3D learning playground for potential attention training in ADHD: A brain computer interface approach,» de *2015 37th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC)*, IEEE, 2015, pp. 67-70.
- [20] C. G. Lim, X. W. W. Poh, S. S. D. Fung, C. Guan, D. Bautista, Y. B. Cheung, H. Zhang, S. N. Yeo, R. Krishnan y T. S. Lee, «A randomized controlled trial of a

- brain-computer interface based attention training program for ADHD,» *PLoS One*, vol. 14, n° 5, p. e0216225, 2019.
- [21] X. Qian, B. R. Y. Loo, F. X. Castellanos, S. Liu, H. L. Koh, X. W. W. Poh, R. Krishnan, D. Fung, M. W. Chee y C. Guan, «Brain-computer-interface-based intervention re-normalizes brain functional network topology in children with attention deficit/hyperactivity disorder,» *Translational psychiatry*, vol. 8, n° 1, p. 149, 2018.
- [22] M. Sagiadinou y A. Plerou, «Brain-Computer Interface Design and Neurofeedback Training in the Case of ADHD Rehabilitation,» de *GeNeDis 2018: Computational Biology and Bioinformatics*, Springer, 2020, pp. 217-224.
- [23] L. Jiang, C. Guan, H. Zhang, C. Wang y B. Jiang, «Brain computer interface based 3D game for attention training and rehabilitation,» de *2011 6th IEEE conference on industrial electronics and applications*, IEEE, 2011, pp. 124--127.
- [24] D. A. Rohani, H. B. Sorensen y S. Puthusserypady, «Brain-computer interface using P300 and virtual reality: a gaming approach for treating ADHD,» de *2014 36th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society*, IEEE, 2014, pp. 3606-3609.
- [25] E. Georgiou, G.-K. Thanos, T. Kanellos, A. Doulgerakis y S. C. Thomopoulos, «Evaluating the relation between the EEG brainwaves and attention measures, and the children's performance in REEFOCUS game designed for ADHD symptoms improvement,» de *Smart Biomedical and Physiological Sensor Technology XVI*, SPIE, 2019, pp. 189-198.
- [26] A. E. Alchalabi, S. Shirmohammadi, A. N. Eddin y M. Elsharnouby, «FOCUS: Detecting ADHD patients by an EEG-based serious game,» *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, vol. 67, n° 7, pp. 1512-1520, 2018.
- [27] M. A. Nazari y P. Berquin, «Effect of electrical activity feedback on cognition,» de *2010 17th Iranian Conference of Biomedical Engineering (ICBME)*, IEEE, 2010, pp. 1-3.
- [28] C. G. Lim, T.-S. Lee, C. Guan, D. S. Fung, Y. B. Cheung, S. Teng, H. Zhang y K. R. Krishnan, «Effectiveness of a brain-computer interface based programme for the treatment of ADHD: a pilot study,» *Psychopharmacol Bull*, vol. 43, n° 1, pp. 73-82, 2010.
- [29] K. Park, T. Kihl, S. Park, M.-J. Kim y J. Chang, «Fairly tale directed game-based training system for children with ADHD using BCI and motion sensing technologies,» *Behaviour & Information Technology*, vol. 38, n° 6, pp. 564-577, 2019.
- [30] D. Z. Blandón, J. E. Muñoz, D. S. Lopez y O. H. Gallo, «Influence of a BCI neurofeedback videogame in children with ADHD. Quantifying the brain activity through an EEG signal processing dedicated toolbox,» de *2016 IEEE 11th Colombian Computing Conference (CCC)*, IEEE, 2016, pp. 1-8.
- [31] A. Umemoto, C. N. Lukie, K. A. Kerns, U. Müller y C. B. Holroyd, «Impaired reward processing by anterior cingulate cortex in children with attention deficit hyperactivity disorder,» *Cognitive, Affective, & Behavioral Neuroscience*, vol. 14, pp. 698-714, 2014.
- [32] K. C. Bul, I. H. Franken, S. Van der Oord, P. M. Kato, M. Danckaerts, L. J. Vreeke, A. Willems, H. J. Van Oers, R. Van den Heuvel y R. Van Slagmaat, «Development and user satisfaction of "Plan-It Commander," a serious game for children with ADHD,» *Games for health journal*, vol. 4, n° 6, pp. 502-215, 2015.
- [33] K. P. Thomas, A. Vinod y C. Guan, «Enhancement of attention and cognitive skills using EEG based neurofeedback game,» de *2013 6th International IEEE/EMBS Conference on Neural Engineering (NER)*, IEEE, 2013, pp. 21-24.
- [34] J.-A. Cervantes, S. López, J. Molina, F. López, M. Perales-Tejeda y J. Carmona-Frausto, «CogniDron-EEG: A system based on a brain-computer interface and a drone for cognitive training,» *Cognitive Systems Research*, vol. 78, pp. 48-56, 2023.
- [35] V. A. Canady, «FDA approves first video game Rx treatment for children with ADHD,» *Mental Health Weekly*, vol. 30, n° 26, pp. 1-7, 2020.
- [36] J. F. Saad, K. R. Griffiths y M. S. Korgaonkar, «A systematic review of imaging studies in the combined and inattentive subtypes of attention deficit hyperactivity disorder,» *Frontiers in Integrative Neuroscience*, vol. 14, p. 31, 2020.
- [37] B. Zablotzky, M. D. Bramlett y S. J. Blumberg, «The co-occurrence of autism spectrum disorder in children with ADHD,» *Journal of Attention Disorders*, vol. 24, n° 1, pp. 94-103, 2020.
- [38] E. A. Harvey, R. P. Breaux y C. I. Lugo-Candelas, «Early development of comorbidity between symptoms of attention-deficit/hyperactivity disorder (ADHD) and oppositional defiant disorder (ODD).» *Journal of abnormal psychology*, vol. 125, n° 2, p. 154, 2016.
- [39] A. Koyuncu, T. a. I. G. E. Ayan, S. Erbilgin y E. Deveci, «ADHD and anxiety disorder comorbidity in children and adults: Diagnostic and therapeutic challenges,» *Current Psychiatry Reports*, vol. 24, n° 2, pp. 129-140, 2022.
- [40] N. M. Brown, S. N. Brown, R. D. Briggs, M. Germán, P. F. Belamarich y S. O. Oyeku, «Associations between adverse childhood experiences and ADHD diagnosis and severity,» *Academic pediatrics*, vol. 17, n° 4, pp. 349-355, 2017.
- [41] M. Masset, L. Carrere y C. Tabernig, «A Usability Evaluation Protocol for an Hybrid Brain-Computer Interface Aimed at Attention-Deficit Disorder Rehabilitation,» de *Latin American Conference on Biomedical Engineering*, Springer, 2022, pp. 44-51.
- [42] P. Pons, S. Navas-Medrano y J. L. Soler-Dominguez,

«Extended reality for mental health: current trends and future challenges,» *Frontiers in Computer Science*, vol. 4, pp. 1-9, 2022.

- [43] R. Damaševičius y R. a. B. T. Maskeliūnas, «Serious games and gamification in healthcare: a meta-review,» *Information*, vol. 14, n° 2, p. 105, 2023.