

Attention Robots: Juego serio para la ayuda de la detección del TDAH

Javier Sanchis*
javier.sanchis@ua.es
Lucentia Research Group,
Universidad de Alicante
Sant Vicent del Raspeig, Alicante
España

Alejandro Panagiotidis
alejandrop@ua.es
Lucentia Research Group,
Universidad de Alicante
Sant Vicent del Raspeig, Alicante
España

Marina Maciá
marinam.ferrandez@ua.es
Lucentia Research Group,
Universidad de Alicante
Sant Vicent del Raspeig, Alicante
España

Alejandro Fernández de
Córdoba
alex.fernandez@gua.es
Lucentia Research Group,
Universidad de Alicante
Sant Vicent del Raspeig, Alicante
España

Miguel A. Teruel
materuel@dlsi.ua.es
Lucentia Research Group,
Universidad de Alicante
Sant Vicent del Raspeig, Alicante
España

Juan Trujillo
jtrujillo@dlsi.ua.es
Lucentia Research Group,
Universidad de Alicante
Sant Vicent del Raspeig, Alicante
España

RESUMEN

El Trastorno por Déficit de Atención e Hiperactividad (TDAH) es un trastorno neuroevolutivo prevalente durante la infancia y la adolescencia caracterizado por síntomas generalizados de inatención, hiperactividad e impulsividad, afectando significativamente el funcionamiento diario. Los métodos diagnósticos tradicionales para el TDAH son extensos y requieren de muchos recursos. La incorporación de Juegos Serios basados en el diagnóstico y la intervención terapéutica del TDAH representa un avance revolucionario en los dominios de la salud mental y la neurociencia. Este estudio tiene como objetivo desarrollar un Juego Serio, llamado "Attention Robots", para facilitar un sistema asistido por ordenador para el diagnóstico del TDAH. El juego recopila y almacena datos biométricos mediante el uso de un casco de electroencefalografía (EEG), una pulsera de actividad electrodermal (EDA) y un dispositivo de seguimiento ocular. Los sujetos participan en una dinámica que requiere identificar robot basados en la postura, mientras el sistema registra meticulosamente aciertos, comisiones y omisiones para analizar el enfoque y la atención. La efectividad de "Attention Robots" se evaluó a través de un análisis comparativo con el establecido Test de Atención D2. Se empleó un diseño experimental controlado, demostrando la validez del juego como herramienta de evaluación de la atención. Las métricas comparativas enfatizaron el tiempo de respuesta, la tasa de error y la consistencia atencional, alineándose estrechamente con los parámetros del Test D2. En conclusión, "Attention Robots" significa un avance notable en la gamificación de la evaluación del TDAH, destacando el potencial de las plataformas interactivas basadas en juegos para agilizar el proceso de diagnóstico del TDAH y apoyar las intervenciones terapéuticas. Mientras que el estudio actual se centra en los mecanismos centrales del juego en la medición de la atención, se anticipan mejoras futuras que involucren la integración de tecnologías de análisis biométrico con el objetivo refinar aún más la capacidad del juego para una evaluación precisa del TDAH.

CCS CONCEPTS

• **Applied computing** → **Health informatics**; • **Human-centered computing** → *User interface design*.

KEYWORDS

TDAH, Juego Serio, Attention Robots

1 INTRODUCCIÓN

El Trastorno por Déficit de Atención e Hiperactividad (TDAH) se caracteriza por un patrón duradero de falta de atención, hiperactividad e impulsividad que altera significativamente el funcionamiento o el desarrollo de la persona que lo padece [7, 22] cuya prevalencia entre niñas y niños en todo el mundo es entre el 3 y el 7 % [22].

El TDAH se asocia a una amplia variedad de dificultades cognitivas que van más allá de los síntomas de falta de atención, hiperactividad e impulsividad. Estas dificultades suelen afectar a las funciones ejecutivas, memoria de trabajo, velocidad de procesamiento, inhibición de la respuesta y atención sostenida [24, 26].

Para diagnosticar el TDAH, los síntomas deben ser constantes por al menos seis meses y evidentes desde temprana edad (3-6 años), tanto en casa como en la escuela. Estos síntomas impactan áreas académicas, sociales y profesionales y varían con la edad. Existen dos principales síntomas: déficit de atención e hiperactividad/impulsividad, los cuales definen tres tipos de TDAH: predominante desatento, predominante hiperactivo-impulsivo, y combinado.

El uso de juegos de ordenador como herramienta diagnóstica y terapéutica, mas conocidos como Juegos Serios, para el Trastorno por Déficit de Atención e Hiperactividad (TDAH) representa un avance novedoso en los ámbitos de la salud mental y la neurociencia. Este enfoque aprovecha los atributos interactivos y de inmersión de los videojuegos para facilitar la evaluación y el posible tratamiento del TDAH. Su objetivo es ofrecer una alternativa más objetiva y atractiva que los métodos convencionales [5].

Los Juegos Serios, con su atractivo y capacidad para motivar, son eficaces para captar la atención de niños y adolescentes en diagnósticos o terapias. Permiten recolectar datos precisos y en tiempo real sobre la toma de decisiones y respuestas, ofreciendo una evaluación objetiva de síntomas como la falta de atención o impulsividad. A diferencia de los métodos tradicionales basados en evaluaciones subjetivas, los Juegos Serios proporcionan una alternativa cuantificable y menos intimidante, resultando en evaluaciones más precisas. Además, la capacidad de los juegos de ordenador para proporcionar información inmediata supone una ventaja significativa tanto en la fase de diagnóstico como en la de tratamiento del TDAH [20].

Bajo este marco, se han desarrollado una serie de Juegos de Atención denominados "Attention Games" que, mediante la incorporación de dispositivos diseñados para recolectar datos biométricos de los jugadores, buscan proveer un conjunto de herramientas para ser aplicado en la identificación del TDAH. A la luz de las consideraciones anteriores, el presente estudio implica el desarrollo de un Juego Serio diseñado para evaluar cuantitativamente la atención del usuario, con el objetivo de identificar a los individuos potencialmente afectados por el TDAH.

Este juego se basa conceptualmente en una prueba establecida de medición de la atención denominada D2 [1, 2]. Sin embargo, innova al facilitar el proceso de evaluación de la atención mediante una plataforma digital totalmente automatizada y no supervisada.

El resto de este manuscrito está organizado de la siguiente forma: tras esta sección introductoria, la Sección 2 ofrece un resumen exhaustivo de la literatura pertinente y de estudios previos en este campo. La Sección 3 presenta "Attention Robots", nuestro innovador enfoque para cuantificar la atención del usuario a través de un Juego Serio. La Sección 4 describe la evaluación experimental empleada para valorar la eficacia del juego. El artículo concluye con la Sección 5, en la que se discuten las implicaciones de este trabajo y se esbozan líneas de investigación para el futuro.

2 TRABAJOS RELACIONADOS

En el ámbito de la evaluación neuropsicológica, la validez ecológica se refiere a la medida en la que una evaluación psicológica refleja escenarios de la vida real [12]. Los estudios que examinan la validez ecológica de las pruebas neuropsicológicas tradicionales de papel y lápiz, entre grupos clínicos y sanos, han mostrado preocupación por su limitada capacidad de predecir el funcionamiento en el mundo real [3, 18]. Para contrarrestar este problema, han surgido nuevas evaluaciones con el objetivo de mejorar la validez ecológica. Algunas de estas evaluaciones reproducen tareas cognitivas [16], mientras que otros utilizan sistemas tecnológicos para evaluar los procesos cognitivos [13, 16].

Las evaluaciones neuropsicológicas tradicionales son fundamentales para diagnosticar y comprender las dificultades cognitivas relacionadas con el TDAH. En este sentido, los avances tecnológicos han introducido métodos innovadores como las evaluaciones cognitivas por ordenador, que proporcionan herramientas precisas y dinámicas para evaluar los déficits cognitivos relacionados con el TDAH [6, 23]. Por ejemplo, en [5], los autores presentan un juego de ordenador diseñado para evaluar el nivel de falta de atención entre individuos con TDAH. Esta innovadora herramienta consiste

en un auténtico juego de ordenador en el que los usuarios controlan un avatar de mapache, haciéndole saltar para evitar caer en varios huecos. El juego registra la distancia al hueco de cada salto realizado por el avatar. Además, dentro del ámbito de las evaluaciones informatizadas, una de las más frecuentes es la Prueba de Rendimiento Continuo de Conners (CPT) [4, 18]. En esta prueba, los participantes deben pulsar rápidamente la barra espaciadora de un teclado cada vez que aparecen caracteres específicos en la pantalla de un ordenador. Sin embargo, si aparece un carácter prohibido, conocido como estímulo X, los individuos deben inhibir su respuesta. Esta técnica sigue el paradigma Go/No-Go [18, 21], en las que se pide a los participantes que muestren una respuesta determinada cuando se presentan estímulos específicos y se abstengan de reaccionar frente a estímulos menos comunes. Numerosos estudios han demostrado la capacidad de estas medidas para distinguir entre niños con y sin TDAH [14].

Estas evaluaciones ofrecen una plataforma para medir las capacidades cognitivas en un entorno válido controlado, utilizando la tecnología para evaluar con precisión las funciones cognitivas específicas afectadas en el TDAH, incluida la atención sostenida, la memoria de trabajo y la inhibición de la respuesta [11]. En consecuencia, las evaluaciones cognitivas informatizadas han surgido como herramientas precisas y dinámicas para evaluar de forma exhaustiva los déficits cognitivos asociados al TDAH, ofreciendo ventajas en cuanto a precisión, adaptabilidad y validez [19]. Estas evaluaciones también permiten generar protocolos estandarizados, lo que posibilita una medición y cuantificación coherente del rendimiento cognitivo en diversos ámbitos. Además, la adaptabilidad y personalización de las tareas en función de los niveles de rendimiento individuales aumentan la precisión y fiabilidad de estas evaluaciones [17].

Sin embargo, por lo que sabemos, los trabajos mencionados no recogen datos biométricos adicionales al medir la atención. Además, estos trabajos carecen de validación mediante la comparación con pruebas estándar ampliamente reconocidas para medir la atención. Así pues, con el fin de ampliar los trabajos relacionados, presentamos un innovador videojuego, denominado Attention Robots, destinado a cuantificar los niveles de atención en individuos con TDAH y establecer un marco para la recogida de datos biométricos. Por ello, hemos desarrollado y evaluado empíricamente nuestra propuesta, los Attention Robots, que se presentará a continuación de forma detallada.

3 ATTENTION ROBOTS

Para poder cuantificar la atención de los sujetos diagnosticados con TDAH, o aquellos que muestran síntomas de dicho trastorno, comenzamos el desarrollo de la serie de juegos "Attention Game". Esta serie está diseñada para cumplir dos roles, el primero como una herramienta complementaria de diagnóstico para los psicólogos que evalúan el TDAH en niños, y el segundo como mecanismo longitudinal para monitorizar su progreso. Estos juegos brindan una experiencia interactiva e inmersiva, aumentando el interés en la prueba de manera significativa respecto a las pruebas de lápiz y papel convencionales.

La ya mencionada serie de juegos recopila no solo los datos de la mecánica del juego (Aciertos, Errores y Omisiones) si no

también datos biométricos de los jugadores como, por ejemplo, la actividad cerebral, respuestas electrotérmicas, ritmo cardíaco y seguimiento ocular. En un futuro estos datos biométricos serán procesados mediante técnicas avanzadas de aprendizaje profundo y de esta manera, proporcionar a los psicólogos un conjunto de herramientas aún más sofisticado para la identificación de casos potenciales de TDAH y además, para la evaluación del desarrollo de la condición en pacientes ya diagnosticados.

En este contexto, presentamos "Attention Robots", la segunda edición en la serie "Attention". En este juego serio, al participante se le presentan una serie de robots, cada uno identificado por una postura diferente. El objetivo del participante es identificar y marcar los robots siguiendo dos criterios: i) tener exactamente dos brazos sin distinción de si estos están en un mismo lado del mismo o uno en cada, y ii) que esté de pie. En la Figura 1 se puede observar gráficamente como es un robot correctamente marcado, indicado en verde, y como es un robot incorrectamente marcado, indicado en rojo.



Figura 1: Robot marcado Correctamente

Esta tarea se encarga de medir la habilidad del participante a la hora de prestar atención a características específicas de los robots de acuerdo con las reglas establecidas. El juego está situado en una cuadrícula de 14 filas cada una con 57 columnas las cuales contienen diversas versiones del robot en cada posición. Esta cuadrícula brinda la oportunidad al jugador de probar sus habilidades de atención y toma de decisiones. En la Figura 2, se puede observar dicha cuadrícula ampliada para su mejor visualización.

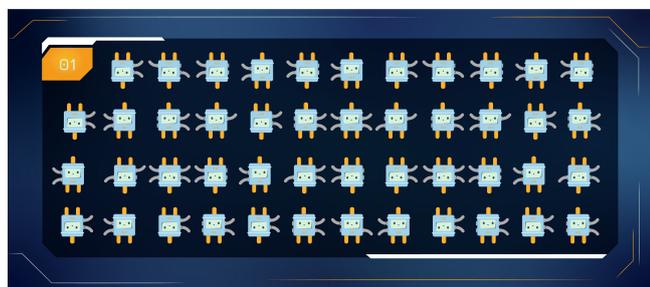


Figura 2: Cuadrícula Ampliada del Juego "Attention Robots"

El juego comienza con un proceso estructurado diseñado para facilitar el uso de la herramienta por parte del jugador. En primer

lugar, arranca el tutorial, dando instrucciones de manera verbal y escrita además de acompañarlo con una muestra gráfica de las mecánicas del juego. Esta fase dura aproximadamente 2 minutos, asegurándose así de que los jugadores han entendido la mecánica del juego correctamente.

Durante el juego, los usuarios tendrán que identificar los robots que se adhieran a los criterios descritos en el tutorial dentro de un margen de tiempo de 20 segundos por línea. La transición entre líneas viene acompañada de un audio distintivo y el resaltado de la línea siguiente. Los robots marcados obtienen un brillo naranja en la pantalla, y los jugadores siempre pueden de-seleccionarlos haciendo clic de nuevo en un robot seleccionado. Cuando el juego concluye se muestra claramente en los robots seleccionados cuales son correctos y cuales incorrectos.

Respecto a los resultados del juego, nuestra recolección de datos incluye cuatro eventos propios de la mecánica del juego, además de por supuesto los datos biométricos para su posterior uso en futuras investigaciones:

- **Velocidad:** El ultimo robot marcado de cada línea.
- **Aciertos:** Número de robots marcados correctamente.
- **Omisiones:** Suma de robots no marcados que deberían estar marcados.
- **Comisiones:** Total de robots que el participante ha marcado de manera incorrecta.

Hay que destacar que los ejecutables del juego se encuentran disponibles en <http://hdl.handle.net/10045/137036>. Además, el desarrollo de este juego fue supervisado por profesionales especializados en psicología, asegurando un enfoque cuidadoso y científicamente fundamentado.

4 EVALUACIÓN

En esta sección, realizaremos un análisis comparativo de la prueba "Attention Robots" para determinar su capacidad de evaluar la atención. Para lograr este objetivo, la compararemos con el test D2 [1, 2], una prueba psicológica que permite medir el nivel de atención de un individuo.

En consecuencia, con este estudio buscamos investigar si existe correlación entre las puntuaciones obtenidas del proceso de medición de nuestra prueba y las derivadas del Test D2. Esto nos permitirá validar si la prueba "Attention Robots" es tan eficaz como los métodos tradicionales, así como averiguar si puede considerarse una herramienta válida para medir la atención de los usuarios.

4.1 El Test de Atención D2

El Test de Atención D2 es una prueba de papel y lápiz que implica varios caracteres y símbolos, en la que, el individuo que participa en la prueba debe observar un conjunto de caracteres y marcar aquellos que cumplan ciertos criterios específicos. La prueba tiene una duración de aproximadamente 8 minutos y ha demostrado su eficacia en personas de entre 6 y 80 años [2].

La prueba consta de 14 líneas con 57 elementos cada una. Estas líneas contienen las letras "d" y "p", que pueden aparecer con uno o dos pequeños guiones encima o debajo. Los participantes disponen de 20 segundos en cada línea para marcar, de izquierda a derecha, cada letra "d" que muestre dos pequeños guiones (ambos por encima,

por debajo, o uno por encima y otro por debajo). La información que se recoge es la siguiente:

- **Velocidad (V):** Suma del último elemento bien marcado en cada fila.
- **Omisiones (O):** Suma de los elementos omitidos, cuando el participante se saltó un elemento objetivo (que debería estar marcado).
- **Comisiones (C):** Suma de los elementos marcados erróneamente, cuando el participante marcó un elemento que no debería estar marcado.

A continuación, se calculan las siguientes métricas:

- **Concentración (CN):** $CN = V - (O + C)$
- **Precisión (P):** $P = (V - CN/V) * 100$

4.2 Marco Experimental

Como se ha mencionado anteriormente, el objetivo principal de esta sección es realizar una evaluación empírica y una comparación entre el juego “Attention Robots” y el test D2. Dicha evaluación se ha llevado a cabo mediante un experimento controlado, cuyas características principales pueden verse en la Tabla 1.

Cabe mencionar que, previamente al proceso de recogida de datos, se obtuvo la aprobación del comité ético hospitalario del Instituto de Investigación Sanitaria y Biomédica de Alicante (IS-ABIAL) y de la Universidad de Alicante. Este procedimiento es necesario debido a que la recogida de datos se realizó con participantes menores de edad (6 a 18 años) además, siempre se recabó el permiso firmado de los padres. Por otro lado, cada participante realizó una prueba de evaluación psicológica con el objetivo de identificar posibles candidatos que podrían no ser aptos para participar en el experimento.

4.3 Diseño Experimental

Los experimentos se realizaron en dos sesiones de aproximadamente 20 minutos, la mayoría de ellas por la tarde. El comité ético de ISABIAL confirmó que la prueba de Attention Robots debía realizarse siempre en la primera sesión y la prueba D2 en la segunda. Por lo tanto, no se puede considerar aquí un experimento cruzado 2x2 ya que se debe seguir el protocolo experimental aprobado en la secuencia especificada. A continuación, se detalla el desarrollo del experimento.

En primer lugar, se creó un entorno agradable en el que los participantes se sintieran cómodos y se recogieron datos demográficos. Cada participante estuvo siempre acompañado por al menos un psicólogo y un técnico informático. Después, se explicaba el contenido y las actividades que se realizarían durante la sesión. A continuación se explica el desarrollo de cada sesión:

- **SESIÓN 1: Prueba de Attention Robots** (10-15 minutos aproximadamente): Se comprobó su correcto funcionamiento. Los participantes jugaron a la prueba “Attention Robots”. Finalmente, se recopilaron los siguientes datos:
 - Indicadores de la prueba: Velocidad (V), Omisiones (O) y Comisiones (C).
 - Datos EEG.
 - Datos biométricos de la pulsera electrodermal.
 - Datos de seguimiento ocular.

- **SESIÓN 2: Prueba D2** (8 minutos aproximadamente): Los participantes realizaron la el Test D2 en una mesa utilizando lápiz y papel.

Se recogió la siguiente información:

- Los indicadores de la prueba: Velocidad (V), Omisiones (O) y Comisiones (C).

Una vez finalizada la sesión, los datos personales de los participantes, los resultados de ambas pruebas, D2 y “Attention Robots”, así como los datos biométricos, se almacenaron de forma anónima en un servidor NAS a través de una conexión SSH cifrada.

4.4 Resultados del Experimento

En esta sección se presentan los resultados del experimento. El experimento contó con 58 participantes. La edad media de los participantes del estudio era de 13,4 años. La Tabla 2 representa las estadísticas descriptivas de las variables obtenidas tanto test D2 como en el juego “Attention Robots”. En esta tabla se muestran los valores máximo, mínimo, media, mediana, moda y la desviación estándar (σ) de las variables recogidas Velocidad (V), Omisiones (O), Comisiones (C), Concentración (CN) y Precisión (P). Finalmente cabe indicar que el número de sujetos que participaron en el experimento fue suficientemente grande ($=30$), de acuerdo con la teoría del límite central [8], y por lo tanto, se supone que el conjunto de datos recogidos es estadísticamente significativo.

4.5 Análisis de Resultados

Una vez presentados los resultados del experimento, se analizarán adecuadamente para aceptar o rechazar nuestras hipótesis iniciales. Nuestro objetivo principal era determinar si existían correlaciones entre la prueba D2 y la prueba de Attention Robots.

Por ello, en primer lugar, hemos calculado el Coeficiente de Correlación de Spearman (CCE) [10]. Se trata de una métrica estadística que evalúa la relación monótona (no lineal) entre dos variables. En una relación monótona, las variables tienden a cambiar al mismo tiempo, pero no necesariamente a un ritmo constante [9]. Este coeficiente no es muy sensible a los valores atípicos.

Estos cálculos pueden verse en las Tablas 3 y 4. La Tabla 3 presenta los valores CCE, mientras que la Tabla 4 presenta la matriz de los p-value. En la Tabla 4, los valores estadísticamente significativos ($p\text{-value} \leq 0,05$) están marcados en verde, mientras que los valores no significativos ($p\text{-value} > 0,05$) están marcados en rojo. Los valores CCE representados en la Tabla 3 tienen la siguiente interpretación:

- **Cercano a 1:** indica una fuerte relación monotónica positiva, lo que significa que a medida que aumenta una variable, la otra tiende a aumentar.
- **Cercano a -1:** indica una fuerte relación monotónica negativa, lo que significa que a medida que una variable aumenta, la otra tiende a disminuir.
- **Cercano a 0:** sugiere una falta de relación monotónica, lo que significa que hay poca o ninguna asociación entre las variables.

Para resumir esta información, presentamos la Tabla 5, donde se presentan los datos más relevantes del CCE.

A continuación, se calculó el Coeficiente de Correlación de Pearson (CCP) [15]. Esta métrica estadística mide la fuerza y la dirección

Tabla 1: Marco Experimental, principales características.

Hipótesis nulas	- H _{0A} : No se encuentra correlación en la Velocidad entre el test D2 y la prueba “Attention Robots”. - H _{0B} : No se encuentra correlación en el número de Omisiones entre el test D2 y la prueba “Attention Robots”. - H _{0C} : No se encuentra correlación en el número de Comisiones entre el test D2 y la prueba “Attention Robots”. - H _{0D} : No se encuentra correlación en la medida de Concentración entre el test D2 y la prueba “Attention Robots”. - H _{0E} : No se encuentra correlación en la Precisión entre el test D2 y la prueba “Attention Robots”.
Variabes dependientes	Velocidad, Omisiones, Comisiones, Concentración y Precisión.
Variable independiente.	- Utilizar la prueba D2 de Atención - Utilizar la prueba Attention Robots
Localización	Instituto Universitario de Investigación Informática (Alicante, España)
Fecha	De junio de 2022 a julio de 2023
Sujetos	58 sujetos de 6 a 18 años

Tabla 2: Estadísticas descriptivas para las pruebas D2 y “Attention Robots”

	D2					Attention Robots				
	V	O	C	CN	P	V	O	C	CN	P
Muestra	58	58	58	58	58	58	58	58	58	58
Max	247	50	13	239	35.7	439	15	21	436	25
Min	27	0	0	21	0.6	92	0	0	69	0
Media	139.276	8.621	3.707	126.828	9.747	262.328	5.172	3.362	253.793	4.062
Mediana	134.5	6.0	3.0	121.0	8.2	258	4.5	2	252.5	3.2
Moda	188	6	2	100	8	274	1	0	182	3.6
σ	51.041	8.387	3.078	49.824	6.388	92.246	4.074	3.914	93.918	3.920

Tabla 3: Matriz de Coeficientes de Correlación de Spearman

	AR_velocity	AR_omissions	AR_commissions	AR_concentration	AR_precision	D2_velocity	D2_omissions	D2_commissions	D2_concentration	D2_precision
AR_velocity	1.000	0.122	-0.610	0.997	-0.669	0.905	0.439	-0.460	0.921	-0.456
AR_omissions		1.000	-0.038	0.086	0.464	0.055	0.333	0.097	0.011	0.245
AR_commissions			1.000	-0.637	0.750	-0.590	-0.210	0.496	-0.615	0.423
AR_concentration				1.000	-0.703	0.906	0.416	-0.481	0.926	-0.485
AR_precision					1.000	-0.638	-0.090	0.549	-0.686	0.607
D2_velocity						1.000	0.496	-0.415	0.978	-0.384
D2_omissions							1.000	-0.083	0.385	0.463
D2_commissions								1.000	-0.464	0.609
D2_concentration									1.000	-0.511
D2_precision										1.000

Tabla 4: Matriz de p-values de Spearman

	AR_velocity	AR_omissions	AR_commissions	AR_concentration	AR_precision	D2_velocity	D2_omissions	D2_commissions	D2_concentration	D2_precision
AR_velocity		0.363	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000
AR_omissions			0.778	0.520	0.000	0.681	0.011	0.469	0.935	0.064
AR_commissions				0.000	0.000	0.000	0.113	0.000	0.000	0.001
AR_concentration					0.000	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000
AR_precision						0.000	0.504	0.000	0.000	0.000
D2_velocity							0.000	0.001	0.000	0.003
D2_omissions								0.534	0.003	0.000
D2_commissions									0.000	0.000
D2_concentration										0.000
D2_precision										

Tabla 5: Resultados de la Correlación de Spearman.

D2 vs Attention Robots	Spearman	p-value
Velocidad (V)	0.905	0
Omisiones (O)	0.333	0.011
Comisiones (C)	0.496	0
Concentración (CN)	0.926	0
Precisión (P)	0.607	0

de una relación lineal entre dos variables, además, cuantifica el grado en que las variaciones de una variable se corresponden con las variaciones de otra variable. Finalmente, cabe indicar que es sensible a los valores atípicos.

Podemos ver estos resultados en las Tablas 6 y 7. La Tabla 6 presenta los valores de CCP, mientras que la Tabla 7 presenta la matriz de p-values. En la Tabla 7, los valores estadísticamente significativos ($p\text{-value} \leq 0,05$) están marcados en verde, mientras que los valores no significativos ($p\text{-value} > 0,05$) están marcados en rojo.

Los valores CCP representados en la figura 6 tienen la siguiente interpretación:

- **Cercano a 1:** Relación lineal.
- **Cercano a -1:** Relación lineal negativa.
- **Cercano a 0:** No existe relación lineal.

Los datos más destacados derivados del análisis del Coeficiente de Correlación de Pearson (CCP) se presentan sistemáticamente en la Tabla 8.

Por tanto, a partir de los resultados obtenidos mediante el Coeficiente de Correlación de Spearman (CCS) y el Coeficiente de Correlación de Pearson (CCP), podemos rechazar las hipótesis nulas H_{0A} , H_{0B} , H_{0C} , H_{0D} y H_{0E} . Por lo tanto, se puede afirmar con un intervalo de confianza del 95 que:

- *Se encuentra correlación en el número total de los últimos elementos bien marcados (velocidad) entre la prueba D2 y la prueba "Attention Robots".*
- *Se encuentra correlación en los elementos omitidos entre la prueba D2 y la prueba "Attention Robots".*
- *Se encuentra correlación en los elementos marcados erróneamente (comisiones) entre la prueba D2 y la prueba "Attention Robots".*
- *Se encuentra correlación en la concentración entre la prueba D2 y la prueba "Attention Robots".*
- *Se encuentra correlación en la precisión entre la prueba D2 y la prueba "Attention Robots".*

Esto implica que existen pruebas empíricas suficientes para concluir que existe una correlación entre los indicadores derivados tanto de la prueba D2 como de la prueba Attention Robots, lo que sugiere que ambas evaluaciones son viables para medir la atención. Sin embargo, nuestra prueba no sólo mide la atención de una manera más atractiva, sino que también facilita la recopilación de datos propicios para el desarrollo de modelos de Deep Learning.

4.6 Amenazas a la validez experimental y limitaciones

Tras la finalización del experimento, se lleva a cabo un análisis de diversas amenazas a la validez centrado en los cuatro tipos de

amenazas definidos en [25]: Validez de Conclusión, Interna, Externa y de Construcción.

La validez experimental de nuestro estudio enfrenta varias amenazas. La Validez de Conclusión se aseguró mediante el uso de métodos de correlación de "Pearson" y "Spearman", arrojando p-values significativos que apoyan nuestras hipótesis. Para proteger la Validez Interna, y asegurar que los resultados reflejan fielmente los datos, se contó con la supervisión de expertos en neuropsicología y la aprobación del comité de ética tanto de ISABIAL como el de la Universidad de Alicante, además de adaptar la participación al horario de los sujetos y asegurar un tamaño de muestra adecuado. La Validez de Construcción se verificó mediante el uso de variables del test D2 y la evaluación de "Attention Robots" por desarrolladores y mediante pruebas piloto. La Validez Externa, sin embargo, se ve limitada por el rango de edad de los participantes (6 a 18 años) y la falta de distinción en el análisis entre sujetos neurotípicos y aquellos con TDAH, con estudios futuros planeados para abordar estas limitaciones.

5 CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS

El Trastorno por Déficit de Atención e Hiperactividad (TDAH) es un trastorno multifacético del neurodesarrollo que suele identificarse en la infancia y que se caracteriza por síntomas persistentes de falta de atención y/o hiperactividad-impulsividad que interfieren significativamente en las actividades cotidianas. La heterogeneidad en la manifestación de los síntomas, la edad de inicio y los trastornos concurrentes pone de manifiesto la complejidad del TDAH. El objetivo principal de este estudio fue desarrollar un innovador juego serio, Attention Robots, destinado a cuantificar los niveles de atención en individuos con TDAH y establecer un marco para la recogida de datos biométricos. En Attention Robots, la medición de la atención se operativiza a través de la capacidad del jugador para identificar varios robots que coincidan con una descripción. El juego registra meticulosamente los aciertos, las comisiones y las omisiones, ofreciendo una visión detallada de la dinámica atencional.

Para garantizar la precisión y la validación científica, el método de medición de Attention Robots, se sometió a una evaluación estadística que incluyó una comparación con el test de atención D2. Los resultados, corroborados por un nivel de confianza del 95%, validan a los Robots de Atención como un instrumento creíble para evaluar la atención.

Este estudio supone un avance significativo en la utilización de juegos de ordenador para la evaluación y rehabilitación de pacientes con TDAH. Attention Robots se presenta como una herramienta novedosa y válida para cuantificar la atención. Sin embargo, el trabajo futuro se centrará en mejoras y optimizaciones adicionales para abordar los diversos retos de la evaluación del TDAH. Los hallazgos animan a seguir investigando en este campo en evolución, con el objetivo de perfeccionar y ampliar los recursos disponibles para el diagnóstico y el tratamiento del TDAH. Por ello, los próximos estudios ampliarán la aplicación del juego a grupos de mayor edad (por encima de los 18 años) y diferenciarán entre usuarios neurotípicos y afectados por el TDAH.

Cabe destacar que, mientras los usuarios están jugando, el sistema está configurado para recopilar datos biométricos de sus usuarios de forma anónima mediante diferentes dispositivos, como casco

Tabla 6: Matriz de Coeficientes de Correlación de Pearson

	AR_velocity	AR_omissions	AR_commissions	AR_concentration	AR_precision	D2_velocity	D2_omissions	D2_commissions	D2_concentration	D2_precision
AR_velocity	1.000	0.150	-0.546	0.998	-0.601	0.911	0.266	-0.414	0.916	-0.436
AR_omissions		1.000	-0.080	0.107	0.237	0.093	0.278	0.103	0.044	0.163
AR_commissions			1.000	-0.575	0.847	-0.568	-0.105	0.396	-0.587	0.493
AR_concentration				1.000	-0.635	0.914	0.254	-0.427	0.922	-0.456
AR_precision					1.000	-0.614	-0.068	0.367	-0.639	0.574
D2_velocity						1.000	0.371	-0.364	0.986	-0.355
D2_omissions							1.000	-0.106	0.220	0.617
D2_commissions								1.000	-0.414	0.447
D2_concentration									1.000	-0.493
D2_precision										1.000

Tabla 7: Matriz de p-values Pearson

	AR_velocity	AR_omissions	AR_commissions	AR_concentration	AR_precision	D2_velocity	D2_omissions	D2_commissions	D2_concentration	D2_precision
AR_velocity		0.261	0.000	0.000	0.000	0.000	0.043	0.001	0.000	0.001
AR_omissions			0.551	0.423	0.074	0.487	0.035	0.440	0.746	0.221
AR_commissions				0.000	0.000	0.000	0.432	0.002	0.000	0.000
AR_concentration					0.000	0.000	0.054	0.001	0.000	0.000
AR_precision						0.000	0.613	0.005	0.000	0.000
D2_velocity							0.004	0.005	0.000	0.006
D2_omissions								0.427	0.096	0.000
D2_commissions									0.001	0.000
D2_concentration										0.000
D2_precision										

Tabla 8: Resultados de la Correlación de Pearson.

D2 vs Robots	Pearson	p-value
Velocidad (V)	0.911	0
Omisiones (O)	0.278	0.035
Comisiones (C)	0.396	0.002
Concentración (CN)	0.922	0
Precisión (P)	0.574	0

de Electroencefalograma (EEG), pulsera de actividad electrodérmica (EDA) y rastreador ocular. La investigación a largo plazo aprovechará los datos biométricos recogidos para desarrollar modelos de Deep Learning y poder clasificar la gravedad del TDAH en los participantes.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido cofinanciado por: El Proyecto BALLADEER (PROMETEO / 2021 / 088), “A Big dAta anaLytical pLatform for the diagnosis and treatment of Attention deficit Hyperactivity Disorder (ADHD) featuring ExtendEd Reality”, financiado por la Conselleria de Innovación, Universidades, Ciencia y Sociedad Digital (Generalitat Valenciana); El proyecto AETHER-UA (PID2020-112540RB-C43), “A smart data holistic approach for context-aware data analytics: smarter machine learning for business modelling and analytics, financiado por el Ministerio de Ciencia e Innovación del Gobierno de España: El Programa Propio para el Fomento del I+D+I (UAIND20-03B) Financiado por el Vicerrectorado de Investigación y Transferencia de Conocimiento de la Universidad de Alicante; Ayuda RED2022-134656-T financiada por MCIN/AEI/10.13039/501100011033

REFERENCIAS

- [1] DSMTF American Psychiatric Association, American Psychiatric Association, et al. 2013. *Diagnostic and statistical manual of mental disorders: DSM-5*. Vol. 5. American Psychiatric Association, Washington, DC.
- [2] R Brickenkamp, L Schmidt-Atzert, and D Liepmann. 2022. *D2-R. Revised Attention Test Assessment of Selective Attention and Concentration (1st ed.)*. TEA, Madrid, SP.
- [3] Naomi Chaytor, Maureen Schmitter-Edgecombe, and Robert Burr. 2006. Improving the ecological validity of executive functioning assessment. *Archives of clinical neuropsychology* 21, 3 (2006), 217–227.
- [4] C. K. Conners, M. H. S. Staff, V. Connelly, S. Campbell, M. MacLean, and J. Barnes. 2000. *Conners’ continuous performance Test II (CPT II v. 5)*. Vol. 29. Multi-Health Syst Inc. 175–96 pages.
- [5] David Delgado-Gómez, Aaron Sújara, Juan Ardoy-Cuadros, Alejandro Bejarano-Gómez, David Aguado, Carolina Miguelez-Fernandez, Hilario Blasco-Fontecilla, and Inmaculada Peñuelas-Calvo. 2020. Objective assessment of attention-deficit hyperactivity disorder (ADHD) using an infinite runner-based computer game: a pilot study. *Brain Sciences* 10, 10 (2020), 716.
- [6] Stephen V Faraone, Philip Asherson, Tobias Banaschewski, Joseph Biederman, Jan K Buitelaar, Josep Antoni Ramos-Quiroga, Luis Augusto Rohde, Edmund JS Sonuga-Barke, Rosemary Tannock, and Barbara Franke. 2015. Attention-deficit/hyperactivity disorder. *Nature reviews Disease primers* 1, 1 (2015), 1–23.
- [7] Stephen V Faraone and Henrik Larsson. 2019. Genetics of attention deficit hyperactivity disorder. *Molecular psychiatry* 24, 4 (2019), 562–575.
- [8] Charles Miller Grinstead and James Laurie Snell. 1997. *Introduction to probability*. American Mathematical Society, Rhode Island, US.
- [9] Jan Hauke and Tomasz Kossowski. 2011. Comparison of values of Pearson’s and Spearman’s correlation coefficients on the same sets of data. *Questiones geographicae* 30, 2 (2011), 87–93.
- [10] Maurice G Kendall. 1938. A new measure of rank correlation. *Biometrika* 30, 1/2 (1938), 81–93.
- [11] Nozhatalzaman Moradi, Soran Rajabi, and Ali Mansouri Nejad. 2022. The effect of neurofeedback training combined with computer cognitive games on the time perception, attention, and working memory in children with ADHD. *Applied Neuropsychology: Child* (2022), 1–13.
- [12] Alexandra Neguț, Silviu-Andrei Matu, Florin Alin Sava, and Daniel David. 2016. Virtual reality measures in neuropsychological assessment: a meta-analytic review. *The Clinical Neuropsychologist* 30, 2 (2016), 165–184.
- [13] Thomas D Parsons and Christopher G Courtney. 2014. An initial validation of the Virtual Reality Paced Auditory Serial Addition Test in a college sample. *Journal of Neuroscience Methods* 222 (2014), 15–23.

- [14] Thomas D Parsons, Tyler Duffield, and Justin Asbee. 2019. A comparison of virtual reality classroom continuous performance tests to traditional continuous performance tests in delineating ADHD: a meta-analysis. *Neuropsychology review* 29 (2019), 338–356.
- [15] Karl Pearson. 1895. VII. Note on regression and inheritance in the case of two parents. *proceedings of the royal society of London* 58, 347-352 (1895), 240–242.
- [16] Jakob Siemerikus, Eva Irle, Carsten Schmidt-Samoa, Peter Dechent, and Godehard Weniger. 2012. Egocentric spatial learning in schizophrenia investigated with functional magnetic resonance imaging. *NeuroImage: Clinical* 1, 1 (2012), 153–163.
- [17] Hannah R Snyder, Akira Miyake, and Benjamin L Hankin. 2015. Advancing understanding of executive function impairments and psychopathology: bridging the gap between clinical and cognitive approaches. *Frontiers in psychology* 6 (2015), 328.
- [18] Aaron Sujar, Sofia Bayona, David Delgado-Gómez, Carolina Miguélez-Fernández, Juan Ardoy-Cuadros, Inmaculada Peñuelas-Calvo, Enrique Baca-García, and Hilario Blasco-Fontecilla. 2022. Attention deficit hyperactivity disorder assessment based on patient behavior exhibited in a car video game: A pilot study. *Brain Sciences* 12, 7 (2022), 877.
- [19] Leanne Tamm, Jeffery N Epstein, James L Peugh, Paul A Nakonezny, and Carroll W Hughes. 2013. Preliminary data suggesting the efficacy of attention training for school-aged children with ADHD. *Developmental cognitive neuroscience* 4 (2013), 16–28.
- [20] Miguel A Teruel, Elena Navarro, Dulce Romero, Mario García, Antonio Fernández-Caballero, and Pascual González. 2017. An innovative tool to create neurofeedback games for ADHD treatment. In *Natural and Artificial Computation for Biomedicine and Neuroscience: International Work-Conference on the Interplay Between Natural and Artificial Computation, IWINAC 2017, Corunna, Spain, June 19-23, 2017, Proceedings, Part I*. Springer, Springer, Corunna, SP, 183–192.
- [21] Barbara L Trommer, Jo-Ann B Hoepfner, Rudy Lorber, and Kevin J Armstrong. 1988. The Go–No-Go paradigm in attention deficit disorder. *Annals of neurology* 24, 5 (1988), 610–614.
- [22] Vihang N Vahia. 2013. Diagnostic and statistical manual of mental disorders 5: A quick glance. *Indian journal of psychiatry* 55, 3 (2013), 220.
- [23] Althea Z Valentine, Beverley J Brown, Madeleine J Groom, Emma Young, Chris Hollis, and Charlotte L Hall. 2020. A systematic review evaluating the implementation of technologies to assess, monitor and treat neurodevelopmental disorders: A map of the current evidence. *Clinical psychology review* 80 (2020), 101870.
- [24] Erik G Willcutt, Alysia E Doyle, Joel T Nigg, Stephen V Faraone, and Bruce F Pennington. 2005. Validity of the executive function theory of attention-deficit/hyperactivity disorder: a meta-analytic review. *Biological psychiatry* 57, 11 (2005), 1336–1346.
- [25] Claes Wohlin, Per Runeson, Martin Höst, Magnus C Ohlsson, Björn Regnell, and Anders Wesslén. 2012. *Experimentation in Software Engineering*. Springer Science & Business Media, Berlin, DE.
- [26] Tsz-Yan Wong, Yu-Tzu Chang, Ming-Yu Wang, and Yun-Hsuan Chang. 2023. The effectiveness of child-centered play therapy for executive functions in children with attention-deficit/hyperactivity disorder. *Clinical Child Psychology and Psychiatry* 28, 3 (2023), 877–894.