



Universidad de Valladolid

FACULTAD DE CIENCIAS

Grado en Óptica y Optometría

MEMORIA TRABAJO FIN DE GRADO TITULADO

Detección de dificultades lectoras y
oculomotoras mediante software informático.
Prueba de concepto.

Presentado por Izaro Atxa Bilbao

Tutelado por Irene Sánchez Pavón

Tipo de TFG: ☐ Revisión ☒ Investigación

En Valladolid a, 13 de abril de 2025

ÍNDICE

RESUMEN.....	2
1. INTRODUCCIÓN.....	4
1.1 Motilidad ocular	5
1.2 Test Developmental Eye Movement (DEM).....	5
1.3 Motilidad ocular en niños con dificultades lectoras	7
2. MATERIAL Y MÉTODOS.....	8
2.1 Diseño	8
2.1.1 Grupo control.....	8
2.1.2 Grupo de estudio	8
2.2 Material	9
2.2.1 Material de exploración visual	9
2.2.2 Material de exploración lectora.....	9
2.2.3 Material informático	9
2.3 Metodología	10
2.4 Análisis estadístico	11
3. RESULTADOS.....	12
4. DISCUSIÓN.....	14
4.1 Limitaciones de este estudio	16
5. CONCLUSIONES.....	16
BIBLIOGRAFÍA.....	17
ANEXO I: Informe favorable del comité ético de investigación clínica.	18

RESUMEN

Justificación y objetivos: Las dificultades lectoras representan una parte significativa de los problemas de aprendizaje y, en muchos casos, están asociados a alteraciones de la motilidad ocular. La evaluación de estas dificultades se suele realizar, en el ámbito escolar por parte del psicopedagogo, mediante una batería de pruebas que dura entre 20 y 40 minutos dependiendo de la edad del niño. Posteriormente, el profesional necesita tiempo adicional para analizar los resultados y poder tomar una decisión pertinente. Este proceso puede generar retrasos en la evaluación de los niños debido a la carga de trabajo. Por ello, se propone una prueba de concepto gamificada para un sistema de screening visual que detecte dificultades lectoras relacionadas con alteraciones de la motilidad ocular.

Material y método: Se reclutaron 21 niños de entre 7 y 11 años, incluyendo 13 sin problemas de lectura ni oculomotores y 8 con dificultades lectoras y alteración de la motilidad ocular evaluada con test DEM (Bernell Corporation, EEUU). Se excluyeron aquellos con estrabismos, ambliopía u otros diagnósticos según el DSM-5.

Los participantes utilizaron la aplicación informática "Ojo al Blanco" de Visionary Eye (Visionary Tool SL, España) durante 30-45 minutos, distribuidos en varias sesiones, para recopilar un total de 2000 respuestas de juego para su análisis. Este juego simula el proceso de lectura a través de movimientos sacádicos precisos y fijaciones entre distintas tarjetas, sin requerir decodificación del lenguaje.

Se analizaron variables internas relacionadas a la dificultad del juego, que representan el desempeño del paciente en cada ronda de juego, como el tiempo de ronda entre tarjetas (medio, máximo y mínimo), junto con aciertos, fallos y el número de tarjetas y distractores (medio, máximo y mínimo) alcanzados según la habilidad de cada niño. Debido al bajo tamaño muestral, los datos fueron comparados mediante la prueba U de Mann-Whitney.

Resultados: Se calcularon la media, el mínimo, el máximo y la desviación estándar de todas las variables. Al comparar estos datos, se encontraron diferencias estadísticamente significativas en el tiempo medio ($894,36 \pm 40,50$ ms vs. $814,96 \pm 94,38$ ms; $p=0,04$) y en el tiempo mínimo de ronda ($565,38 \pm 77,42$ ms vs. $462,50 \pm 106,07$ ms; $p=0,03$). En ambos casos, los niños con dificultades lectoras y alteraciones en la motilidad ocular obtuvieron tiempos menores.

Conclusión: A pesar del tamaño reducido de la muestra, los datos obtenidos a través de la aplicación gamificada "Ojo al Blanco" sugieren que sería viable identificar a niños con dificultades lectoras y oculomotoras en función del análisis de las variables de juego, en concreto del tiempo de ronda entre tarjetas. Dado que estos tiempos fueron significativamente menores en este grupo. Por lo que se puede concluir que esta aplicación podría considerarse como una posible herramienta de screening para estas dificultades. Sin embargo, se requieren estudios adicionales para determinar su sensibilidad y especificidad.

Palabras clave: motilidad ocular, dificultad lectora, terapia visual.

ABSTRACT

Justification and objectives: Reading difficulties represent a significant part of learning problems and, in many cases, are associated with alterations in ocular motility. These difficulties are assessed in the educational field using a battery of tests that last 20-40 minutes, depending on the child's age. Subsequently, the professional needs additional time to analyse the results to be able to make a relevant decision. This process can lead to delays in assessing children due to the workload. Therefore, a gamified test of concept is proposed for a visual screening system to detect reading difficulties related to ocular motility disorders.

Materials and method: Twenty-one children aged 7 to 11 years were recruited, including thirteen with no reading or oculomotor problems and eight with reading difficulties and ocular motility impairment evaluated with the DEM test. Those with strabismus, amblyopia, or other DSM-5 diagnoses were excluded.

Participants used the Visionary Eye (Visionary Tool SL, España) software application "Ojo al Blanco" for 30 to 45 minutes, spread over several sessions, to collect 2000 game responses for analysis. This game simulates the reading process through precise saccadic movements and fixations between different targets, without requiring language decoding.

Internal variables were analysed, related to the difficulty of the game, which represent the patient's performance in each round of the game, such as the round time between targets (mean, maximum, and minimum), the correct answers, misses, and the number of targets and distractors (mean, maximum and minimum) achieved according to each child's ability. Due to the low sample size, data was compared using the Mann-Whitney U-test.

Results: Mean, minimum, maximum, and standard deviation were calculated for all variables. When comparing these data, statistically significant differences were found in the average (894.36 ± 40.50 ms vs. 814.96 ± 94.38 ms; $p=0.04$) and in the minimum round time between targets (565.38 ± 77.42 ms vs. 462.50 ± 106.07 ms; $p=0.03$). In both cases, children with reading difficulties and alterations in ocular motility obtained shorter times.

Conclusion: Despite the small sample size, the data obtained through the gamified application 'Ojo al Blanco' suggests that it would be possible to identify children with reading and oculomotor difficulties based on the analysis of the game variables, in the round time between targets. Therefore, it can be concluded that this application could be considered as a possible screening tool for these difficulties. However, further studies are required to determine its sensitivity and specificity.

Keywords: ocular motility, reading difficulties, vision therapy.

1. INTRODUCCIÓN

Las dificultades de aprendizaje se refieren a un grupo de trastornos heterogéneos que pueden afectar la adquisición, organización, retención, comprensión o uso de información, ya sea verbal o no verbal.¹ En la última edición del Manual Diagnóstico y Estadístico de los Trastornos Mentales (DSM-5), se ha introducido el término del trastorno específico del aprendizaje, como un diagnóstico único para englobar todas estas condiciones. Este trastorno se define como un trastorno del neurodesarrollo de origen biológico que se manifiesta en la lectura, expresión escrita o cálculos matemáticos, dificultando la adquisición de habilidades académicas adecuadas acorde con la edad durante los primeros años escolares.²

Según estadísticas del Ministerio de Educación, Formación Profesional y Deportes del Gobierno de España, en la actualidad entorno a un 12% de los niños presenta dificultades de aprendizaje, existiendo una tendencia creciente que se ha acentuado en los últimos años, con un incremento del 2% en el número de casos entre los cursos escolares 2021-2022 y 2022-2023.³

Esta situación ha llevado a que se describa un proceso de detección y evaluación de estos trastornos, en el que distintos profesionales intervienen, teniendo la atención primaria un papel esencial en el proceso. En el entorno escolar, donde suelen manifestarse las dificultades de aprendizaje, los educadores llevan a cabo una función fundamental al identificar los niños que requieren apoyo adicional.⁴

Siguiendo las directrices del DSM-5, para el correcto diagnóstico de las dificultades de aprendizaje, se deben descartar problemas visuales o auditivos, así como discapacidades intelectuales u otros problemas mentales o neurológicos. Por ello, el primer paso consiste en descartar la presencia de problemas visuales y/o auditivos que no se hayan detectado con anterioridad.² En el caso de las deficiencias visuales, estos niños son remitidos al pediatra, que, a su vez, deriva al oftalmólogo en caso de que exista una sospecha de problemas visuales. El oftalmólogo es quien se encarga de descartar la presencia de patologías oculares, la ambliopía, el estrabismo o errores refractivos.⁴

Sin embargo, es importante considerar que existen otras alteraciones visuales que pueden no ser detectadas en este proceso, conocidas como disfunciones de visión binocular no estrábicas, que incluyen movimientos oculares erráticos, dificultades en la acomodación y problemas vergenciales.⁴ La presencia de alguna de estas anomalías puede influir en el rendimiento académico de los niños, dado que se ha demostrado que pueden afectar a la velocidad de lectura, la precisión y la eficiencia lectora.⁵ Aunque la detección y el tratamiento de estas disfunciones corresponde al óptico-optometrista, su rol no siempre está presente en este protocolo, lo que puede dejar a muchos niños sin un diagnóstico adecuado.⁴

La guía clínica de la Asociación Americana de Optometría sobre el cuidado del paciente con dificultades de aprendizaje relacionados a un problema visual afirma que después de haber descartado el error refractivo, el estrabismo y la ambliopía, hay que explorar la motilidad ocular, la acomodación y las vergencias, ya que en estos niños se ha detectado una prevalencia mayor

de estas alteraciones frente a niños que no tienen dificultades de aprendizaje.⁶

1.1 Motilidad ocular

La motilidad ocular se refiere al conjunto de movimientos automáticos, instintivos y coordinados de ambos ojos, que permiten su trabajo conjunto para captar y procesar imágenes. Su principal función es dirigir los estímulos visuales desde el campo periférico (retina periférica) hacia el campo visual central (fóvea) y mantener la fijación foveal en objetos en movimiento, estabilizando las imágenes incluso durante los movimientos de la cabeza.⁷

Dependiendo de la acción que se quiera realizar, existe un tipo de movimiento ocular específico.

Los movimientos pueden ser individuales de cada ojo, como las ducciones, o requerir la coordinación de ambos ojos, es decir, ser binoculares⁸. Dentro de los movimientos realizados por los dos ojos, se distinguen varios tipos:

- Versiones: Movimientos binoculares conjugados hacia la misma dirección.⁸
- Vergencias: Movimientos sincronizados de ambos ojos en direcciones opuestas. Se diferencian dos tipos, convergencia y divergencia.⁸
- Seguimientos suaves: Movimientos voluntarios conjugados de ambos ojos para mantener estabilizada la imagen foveal de estímulos que se desplazan lentamente por el campo visual.⁹
- Sacádicos: Desplazamientos rápidos de los ojos entre dos puntos de fijación, necesarios para alinear rápidamente la fóvea con el objeto a visualizar.⁹

En este sentido, una alteración de la motilidad ocular puede relacionarse, entre otras, con dificultades lectoras, un tipo específico de dificultad de aprendizaje. Dado que, durante la lectura, los ojos realizan secuencias de sacada-fijación-sacada para avanzar de palabra en palabra, complementadas con movimientos de regresión al finalizar una línea y comenzar la siguiente o cuando es necesario retroceder para releer una palabra.

Las fijaciones se definen como la capacidad de mantener voluntariamente la mirada en un objeto determinado, logrando que la imagen procedente del mismo incida en la zona de mayor resolución espacial de la retina, es decir, sobre la fóvea.⁹ En el contexto de la lectura, las fijaciones son responsables de mantener fija y clara la palabra que se está interpretando.

1.2 Test Developmental Eye Movement (DEM)

El Test Developmental Eye Movement (Bernell Corporation, EEUU) es la prueba más utilizada en la investigación para evaluar la motilidad ocular de niños entre 6 y 12 años. Se trata de una prueba cronometrada diseñada para medir la habilidad visuo-verbal mediante el análisis de los movimientos sacádicos. Consta de tres láminas: Test A, B y C.¹⁰

Las dos primeras láminas, Test A y Test B, consisten en la lectura de 40 números distribuidos en dos columnas (Figura 1). Son ejercicios que implican movimientos verticales que detectan problemas a nivel motor o de reconocimiento visuo-verbal de los números.¹⁰

La tercera prueba, el Test C, consiste en una lectura horizontal de los mismos 80 números distribuidos en 16 filas de forma irregular (Figura 1). En esta prueba interviene la visión periférica para iniciar y finalizar con precisión el sacádico y la amplitud de campo de fijación del mismo.¹⁰

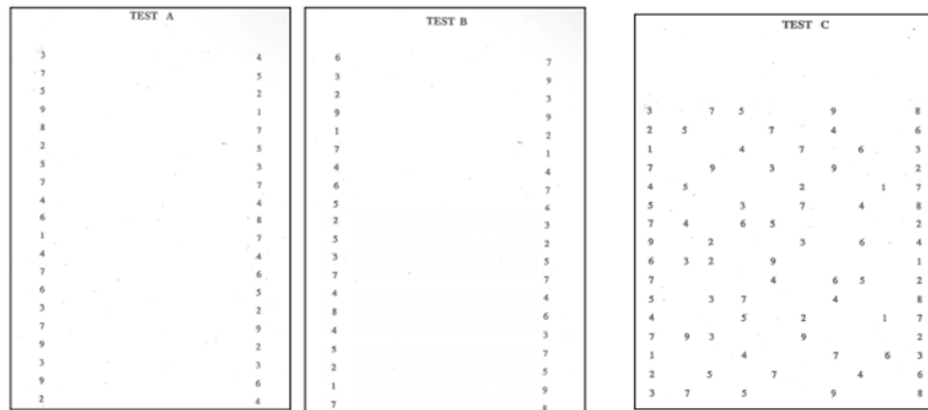


Figura 1: Las tres láminas diagnósticas del Test DEM (Test A, B y C).¹¹

La prueba completa consiste en que el niño (de entre 6 y 12 años) lea rápidamente y en voz alta todos los números de las tres láminas (Test A, Test B y Test C), sin hacer pausas, pero con control, evitando cometer errores o saltarse algún número. No se permite utilizar el dedo como guía durante la prueba, ya que se evalúa una habilidad puramente visual. Mientras tanto, el examinador cronometra el tiempo empleado en cada lámina y registra los errores cometidos, ya sea por supresión, sustitución o adición de números. Posteriormente, se realizan una serie de cálculos (Ecuación 1, 2, 3) y el resultado final se compara con la media normal establecido según la edad.¹⁰

$$Tiempo\ Vertical = Tiempo\ A + Tiempo\ B$$

Ecuación 1: Calculo del tiempo vertical. Tiempo A: Tiempo requerido para completar el Test A. Tiempo B: Tiempo requerido para completar el Test B.

$$Tiempo\ Horizontal\ Ajustado = \frac{Puntuación\ Bruta \times 80}{80 - Adiciones + Supresiones}$$

Ecuación 2: Calculo del tiempo horizontal. Puntuación Bruta: Números leídos correctamente en el Test C. Adiciones: Números mencionados por el niño que no están en el test. Supresiones: Números que el niño saltó durante la prueba.

$$Ratio = \frac{Tiempo\ Horizontal\ Ajustado}{Tiempo\ Vertical}$$

Ecuación 3: Calculo del ratio entre el tiempo horizontal ajustado y el tiempo vertical.

Una vez realizado el test, con los cálculos obtenidos se pueden clasificar los resultados en cuatro categorías:

- Tipo I: Tanto el tiempo vertical como el horizontal son normales. No hay ningún tipo de alteración.¹⁰
- Tipo II: El tiempo vertical es normal; el horizontal, en cambio, es alto. Esto es característico en las disfunciones oculomotoras.¹⁰
- Tipo III: Ambos valores, tanto el tiempo vertical como el horizontal, son altos, pero el cociente entre ambos es normal. Representa la dificultad

básica en la habilidad a la hora de nombrar números.¹⁰

- Tipo IV: Es una combinación de los tipos II y III, los tiempos vertical y horizontal están elevados y el cociente entre ambos también. En estos casos existe un problema tanto en la automaticidad como en las habilidades oculomotoras.¹⁰

1.3 Motilidad ocular en niños con dificultades lectoras

Diversos estudios han demostrado que muchos de los niños con dificultades lectoras suelen tener un aumento en el tiempo de lectura de las palabras por un mayor número de fijaciones y un aumento de la duración de estas.⁵

Algunos signos y síntomas que presentan estos niños a la hora de leer son los movimientos excesivos de la cabeza, la omisión y/o transposición de palabras, el salto de líneas, el uso del dedo para seguir la lectura, entre otros.⁶

La terapia visual es el único tratamiento disponible para mejorar la motilidad ocular. Además, se considera que los ejercicios de terapia visual, diseñados para entrenar los movimientos oculares, pueden reducir los síntomas que presentan los niños con dificultades lectoras, y contribuir a mejorar su rendimiento escolar, aunque no resolver su dificultad de aprendizaje. Sin embargo, en este caso, se quiere evaluar si uno de estos ejercicios informatizado y gamificado podría tener capacidad de screening o detección para problemas de dificultad lectora.

El objetivo de este trabajo es analizar la capacidad diagnóstica de un ejercicio de terapia visual gamificado, diseñado para el entrenamiento de la motilidad ocular, para la detección de dificultad lectura en niños de 7 a 11 años.

2. MATERIAL Y MÉTODOS

2.1 Diseño

El estudio llevado a cabo es un estudio comparativo prospectivo en el que participaron sujetos de entre 7 y 11 años. La muestra incluyó tanto a niños diagnosticados con dificultades en la lectoescritura acompañadas de alteraciones en los movimientos oculares, remitidos por diversos centros educativos, como a aquellos que no presentaban síntomas asociados a problemas académicos.

A los participantes y sus tutores legales se les explicó detalladamente en qué consistía el estudio, resolviendo todas las dudas necesarias. Posteriormente, tras firmar el consentimiento informado, en el que se aceptaba voluntariamente la participación, se verificó que los sujetos cumplieran con los criterios de inclusión y no presentaban los criterios de exclusión especificados a continuación.

2.1.1 Grupo control

- Criterios de exclusión:
 - Presentar algún diagnóstico descrito en el Manual de Diagnóstico y Estadístico de los Trastornos Mentales (DSM-5), y manifestar algún síntoma asociado al ámbito académico.
 - Presencia de ambliopía y estrabismo, problemas de visión binocular no estrábicos o errores refractivos no corregidos.
 - Cualquier patología ocular que afecte a la retina o con alteraciones en la transparencia de los medios ópticos que impidan una visión correcta y/o su desarrollo.

2.1.2 Grupo de estudio

- Criterios de inclusión:
 - El sujeto debe presentar una dificultad en los movimientos sacádicos, evaluada mediante el test DEM (Bernell Corporation, EEUU), con un ratio que se encuentre fuera de la norma para su edad.
 - Debe obtener un nivel inferior al establecido como norma para su edad en la prueba de lectura del test de análisis de lectura y escritura (TALE).
- Criterios de exclusión:
 - Presentar otro diagnóstico descrito en el Manual de Diagnóstico y Estadístico de los Trastornos Mentales (DSM-5) distinto al trastorno específico del aprendizaje con dificultades en la lectura.
 - Mostrar un cociente de inteligencia (IQ), inferior a 80 o superior a 115, evaluado previamente a su remisión por el servicio psicopedagógico de los centros escolares o el SPE, mediante la Escala de inteligencia de Weschler para niños (WISC).
 - Presencia de ambliopía y estrabismo.
 - Prescripción de corrección de error refractivo en un periodo inferior a dos meses.
 - Patología ocular que afecte a la retina o con alteraciones en la transparencia de los medios ópticos que impidan una visión correcta y/o su desarrollo.

2.2 Material

Se empleó el material optométrico estándar disponible en cualquier gabinete para la exploración inicial del niño, proporcionado por la Facultad de Ciencias en el laboratorio de Optometría BS01, con el fin de garantizar el cumplimiento de los criterios de inclusión y exclusión.

2.2.1 Material de exploración visual

Gafa y lentes de prueba, lámpara de hendidura, reglas de esquiascopia, retinoscopio, oftalmoscopio, Test de estereopsis Randot 1s (Stereo Optical Company, Inc, EEUU), pantalla de optotipos polarizada Optotab (SmarThings4Vision, España), linterna puntual, barra de prismas, Test DEM (Bernell Corporation, EEUU) y flippers de ± 2.00 .

2.2.2 Material de exploración lectora

Para la evaluación de la lectura, se utilizó el Test Tale (Test de análisis de lectoescritura), desarrollado en España por Josep Toro y Montserrat Cervera.

2.2.3 Material informático

Para el seguimiento de los movimientos oculares, se empleó el Eye Tracker Tobii 4c (Tobii AB, Suecia), en combinación del software Visionary Eye (Visionary Tool SL, España). Este software se utilizó en un entorno gamificado denominado "Ojo al Blanco", el cual actualmente cuenta con marcado CE como dispositivo médico de bajo riesgo Clase I.

El juego "Ojo al Blanco" está diseñado para evaluar y entrenar los movimientos oculares, en concreto los sacádicos. En él, el usuario debe fijar su mirada en distintas tarjetas mientras que evita los elementos distractores, moviendo únicamente los ojos y manteniendo la cabeza fija. El Eye Tracker Tobii 4c (Tobii AB, Suecia) detecta la posición de la mirada del jugador y la asocia con un punto específico de la pantalla, determinando así si el usuario ha acertado o fallado. Gracias a este control, el usuario podrá disparar a los objetos en los que fije la vista.

Las tarjetas en las que el niño se debe fijar son aquellas que contienen un dibujo de un perro blanco o dorado, mientras que el resto son distractores que debe evitar (Figura 2).

Se considera un acierto cuando el jugador logra cambiar su fijación de una tarjeta a otra en una única sacada. En cambio, se registra un fallo si la mirada se desvía hacia un distractor o si no se sigue el orden de las tarjetas. También se considera fallo si el jugador no alcanza la última tarjeta dentro del tiempo establecido.

Para garantizar la precisión del sistema, es necesario realizar una calibración previa del Eye Tracker. Este proceso consiste en presentar distintos puntos en la pantalla que el usuario debe mirar, un total de seis posiciones. El dispositivo registra la posición de la mirada correspondiente con cada uno de estos puntos y calibra el sistema para interpretar con precisión la dirección visual del jugador durante el desarrollo del juego.

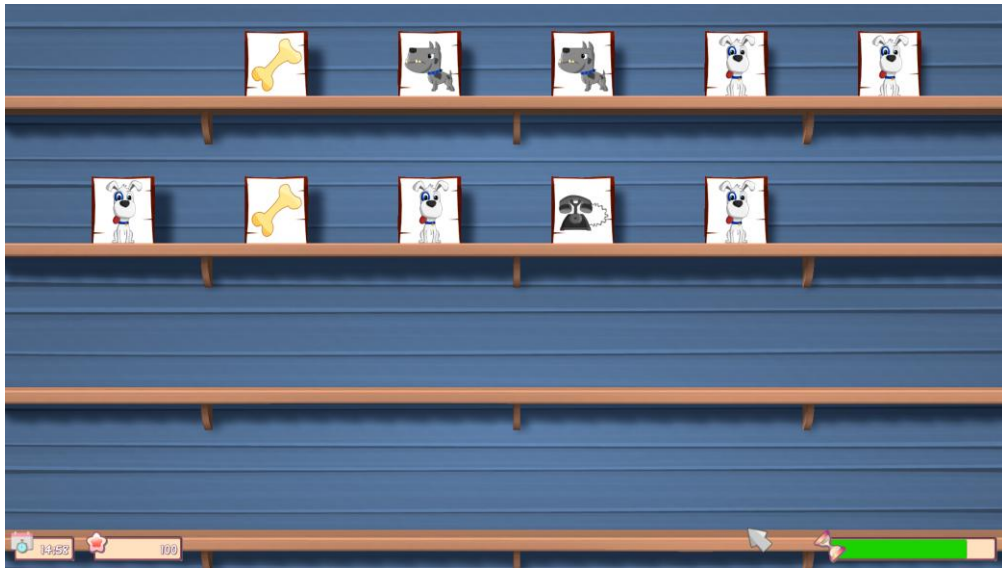


Figura 2. Captura de pantalla del juego “Ojo al blanco” junto con un dispositivo Eye Tracker. Se observan dos líneas de tarjetas donde el niño debe fijar la mirada y realizar saltos entre ellas, enfocándose solo en las tarjetas con la imagen del perro blanco y evitando los objetos distractores. El control mediante Eye Tracker permitirá al usuario disparar a los objetos en los que fije la vista.

2.3 Metodología

La metodología aplicada a cada participante varió ligeramente según el grupo al que pertenecían.

En el caso de los participantes del grupo control, se llevó a cabo una historia clínica con el fin de asegurar que no cumplieran con ningún criterio de exclusión. Se indagó sobre aspectos relacionados con su desarrollo en el ámbito escolar, la presencia de patologías oculares, estrabismo o ambliopía, el uso de corrección óptica y antecedentes familiares. Se realizó un Cover Test, MOE, así como AV, retinoscopia y estereopsis en cerca.

Tras confirmar que no existían factores de exclusión, los niños jugaron a “Ojo al Blanco” durante un total de 30-45 minutos, distribuidos en 2-3 sesiones.

En el caso del grupo con dificultades lectoras, o grupo de estudio, la evaluación inicial realizada por el óptico-optometrista para descartar cualquier criterio de exclusión fue más exhaustiva. Las pruebas realizadas incluyeron:

- Refracción subjetiva.
- Agudeza visual de lejos y cerca.
- Exploración con lámpara de hendidura y oftalmoscopio para verificar la salud de las estructuras oculares.
- Medida de la estereopsis de lejos y cerca.
- Verificar la ausencia de estrabismo y medir la foria con Cover Test.
- Vergencias fusionales positivas y negativas en cerca y lejos.
- Punto próximo de convergencia (PPC).
- Flippers de ± 2.00 .
- Test de Worth.

Posteriormente, los participantes jugaron al “Ojo al Blanco” durante varias semanas, realizando sesiones de unos 5-10 minutos de forma frecuente, como parte del tratamiento.

2.4 Análisis estadístico

Para este estudio, se utilizaron las primeras 2000 respuestas del juego “Ojo al Blanco” de ambos grupos, correspondientes a los primeros 30-45 minutos de juego, dependiendo de la velocidad de cada persona.

Los datos se descargaron de la web de Visionary Eye (Visionary Tool SL, España) y se agruparon en el programa Excel 365 (Microsoft, EEUU), para su posterior análisis con SPSS 29.0 (IBM, EEUU).

La normalidad de la muestra se verificó mediante la prueba de Kolmogorov-Smirnov, asumiendo una distribución paramétrica de los datos si el valor de significancia estadística era superior a 0.05. Dado el tamaño muestral reducido y tras el análisis mencionado, se utilizó el test U de Mann-Whitney para comparar las variables principales extraídas del ejercicio de terapia visual gamificado en la plataforma Visionary Eye (Visionary Tool SL, España) denominado “Ojo al Blanco”: aciertos, fallos, tiempo de ronda entre tarjetas, distractores y tarjetas.

Se calcularon los principales estadísticos descriptivos para cada grupo por separado: media, desviación estándar, valores mínimos y máximos.

3. RESULTADOS

La muestra estudiada estaba compuesta por un total de 21 pacientes, divididos en dos grupos: 13 pertenecían al grupo control (niños sanos) y 8 al grupo de estudio (niños con dificultades lectoras y oculomotoras).

Debido a la antigüedad de los datos de dos participantes del grupo de estudio, la muestra de los parámetros relacionados con los distractores y las tarjetas es de 6 en lugar de 8, ya que en ese momento la plataforma de Visionary no registraba esa información.

En la Tabla 1 se presentan los resultados de cada parámetro, incluyendo los valores estadísticos descriptivos de cada grupo y el valor p resultante de la comparación entre ambos grupos.

Dos de los parámetros estudiados, el tiempo medio y el tiempo mínimo de ronda entre tarjetas, presentan un valor de significación estadística menor que 0,05 ($p < 0,05$), con valores de 0,04 y 0,03, respectivamente. Por lo tanto, se puede concluir que existe una diferencia estadísticamente significativa entre ambos grupos.

Es necesario tener en cuenta que el juego establece un tiempo entre tarjetas máximo de 1000 milisegundos. Si el sujeto no logra cambiar la fijación entre dos tarjetas dentro de ese período, se registra como un fallo. Por lo tanto, el tiempo máximo de ronda es de 1 segundo por cada tarjeta que el niño tenga que fijar correctamente.

	Grupo control (n = 13)	Grupo de estudio (n = 8)	P
Aciertos	778,85±75,26 (627-881)	811,63±117,05 (646-967)	0,50
Fallos	1174,46±65,23 (1087-1307)	1241,00±206,41 (1033-1654)	0,65
Ratio (A/F)	0,67±0,89 (0,53-0,79)	0,68±0,19 (0,39-0,94)	0,97
Tiempo de ronda entre tarjetas Media	894,36±40,50 (784,95-941,68)	814,97±94,38 (663,83-938,83)	0,04
Tiempo de ronda entre tarjetas DE	99,74±16,44 (69,24-124,14)	114,38±24,13 (86,59-164,28)	0,27
Tiempo de ronda entre tarjetas Max	1000±0,00 (1000-1000)	1000±0,00 (1000-1000)	1,00
Tiempo de ronda entre tarjetas Min	565,38±77,42 (450-700)	462,5±106,07 (250-600)	0,03
Distractores Media	6,24±1,16 (4,38-8,32)	5,50±1,15 (3,28-6,47)	0,24
Distractores DE	1,55±0,46 (1,03-2,38)	1,48±0,26 (1,22-1,83)	0,97
Distractores Max	13,62±17,03 (7-70)	8±1,095 (6-9)	0,32
Distractores Min	0,00±0,00 (0,0)	0,50±1,22 (0-3)	0,58
Tarjetas Media	6,77±1,15 (4,95-8,84)	6,02±1,14 (3,84-7,02)	0,24
Tarjetas DE	1,52±0,46 (1-2,37)	1,28±0,54 (0,28-1,76)	0,76
Tarjetas Max	9,46±1,66 (7-12)	8,83±0,98 (7-10)	0,42
Tarjetas Min	2,00±0,00 (2-2)	2,17±0,41 (2-3)	0,58

Tabla 1: Comparación de cada parámetro entre el grupo control (niños sanos) y el grupo de estudio (niños con dificultades lectoras), representando la media, desviación estándar y valores máximos y mínimos de grupo por separado, junto con el valor p. Test utilizado U-Mann-Whitney.

Ratio (A/F): Ratio entre aciertos y fallos; DE: Desviación estándar; Max: Máximo; Min: Mínimo.

4. DISCUSIÓN

En la actualidad, la precisión en la lectura y la comprensión lectora son esenciales, ya que la lectura es una habilidad altamente demandada en la vida cotidiana y fundamental para la adquisición de conocimientos.¹² La lectura es una habilidad compleja que implica procesos oculomotores y cognitivos como los movimientos oculares (convergencia, sacadas y fijaciones), la percepción visual y varios procesos del lenguaje encargados del análisis de letras, léxico, semántico y sintáctico.¹³

Los movimientos oculares anormales durante la lectura pueden estar influenciados por diversos factores, como la edad, la lengua materna, el nivel escolar, la capacidad cognitiva y la dificultad de la tarea de lectura.¹² Cuando el texto presenta un mayor nivel de complejidad se generan fijaciones más largas y frecuentes, una reducción en la longitud de los movimientos sacádicos y un aumento en el número de regresiones. De manera similar, los niños, en comparación con los adultos, y los lectores con dificultades de aprendizaje, en comparación con individuos neurotípicos de su misma edad, muestran patrones oculares característicos de una lectura más exigente, con un mayor número de fijaciones, una mayor duración de estas y movimientos sacádicos más cortos con más regresiones.^{12,14,15}

Numerosos estudios sobre los movimientos oculares han demostrado que las personas con dificultades lectoras presentan patrones anómalos de movimientos oculares.^{5,12-18} A lo largo de los años se han investigado casi todos los tipos de movimientos oculares (sacadas, fijación, vergencia y seguimientos suaves), hallando diferencias entre los sujetos con dificultades lectoras y los neurotípicos de la misma edad. En lo que se refiere a las sacadas, varios estudios encontraron que, durante la lectura, muchos sujetos con dificultades lectoras presentaban sacadas más frecuentes de menor amplitud, así como un alto número de movimientos de regresión, es decir, sacadas hacia atrás para volver a leer la palabra o frase leída. Además de las sacadas, la fijación juega un papel fundamental en la lectura. Se ha comprobado que la fijación muestra características anormales en sujetos con dificultades lectoras, ya que presentan un alto número de fijaciones, las cuales duran más tiempo. Otros estudios también han evidenciado una inestabilidad notable durante las fijaciones.^{13,16-19}

En este trabajo, dos de los parámetros evaluados, el tiempo medio y el tiempo mínimo de ronda entre tarjetas, muestran una diferencia estadísticamente significativa entre el grupo de estudio con dificultades lectoras y el grupo control, obteniendo en ambos casos valores más altos para el grupo control. Sin embargo, es necesario tener en cuenta que en este estudio no se dispone de todos los datos que habitualmente se recogen en estudios científicos sobre los movimientos sacádicos, como el número de sacadas o de regresiones, así como la longitud y la velocidad de las sacadas. En este caso, solo tenemos acceso a los datos de juego almacenados por la plataforma Visionary Eye (Visionary Tool SL, España), lo cual limita los resultados.

La disminución del tiempo de ronda de entre tarjetas en los niños con dificultades lectoras podría estar relacionada con que, en su actividad habitual, tienen que realizar sacadas más rápidas, pero menos eficientes, lo que repercute negativamente en su capacidad lectora. Sin embargo, en el caso del juego, se aprecian unos tiempos menores, lo cual podría ayudar a su detección frente a niños sanos. Ya que parece que, en estos casos, el tiempo empleado en cada sacada es menor y estas son menos precisas, los niños necesitarán realizar un mayor número de regresiones para releer el texto, incrementando así la cantidad total de sacadas, como se ha evidenciado en estudios previos, y, por lo tanto, siendo más rápidos en los movimientos sacádicos que los niños sanos. Además, es probable que estas sacadas también sean más cortas, lo que explicaría su mayor velocidad. Se ha demostrado que, además de hacer un mayor número de regresiones, los niños con dificultades lectoras presentan un mayor número de sacadas hipométricas: su mirada no alcanza el objetivo deseado, quedándose corta en su trayectoria, lo que obliga a realizar una o más sacadas adicionales para llegar al punto de fijación deseado.¹⁹

Estos resultados abren una nueva línea de investigación que parece prometedora, ya que, a través del análisis de los movimientos oculares en una tarea gamificada que requiere movimientos muy similares a los de la lectura, pero sin la decodificación del lenguaje, se podrían detectar problemas de lectura y/o de motilidad ocular. En concreto, mediante un análisis sencillo de los tiempos de juego empleados para fijar cada tarjeta, parece que es posible realizar una selección preliminar y optimizar el tiempo en el diagnóstico de dificultades lectoras y problemas de motilidad.

Hoy en día, la batería PROLEC se considera el referente más importante para la evaluación de la lectura en español. Su objetivo principal es identificar los componentes del sistema lector que pueden estar fallando en los niños que presentan dificultades al leer. Centrándose en los procesos que intervienen en la comprensión del material escrito, tales como la identificación de letras, el reconocimiento de palabras, los procesos sintácticos y los procesos semánticos, evaluando todo esto en nueve tareas específicas. La duración de la realización de los ejercicios que requiere esta evaluación varía según la edad, siendo de aproximadamente 20 minutos para los alumnos de 5º y 6º de Educación Primaria (11-12 años), y alcanzando los 40 minutos para los estudiantes de 1º a 4º curso (6-10 años). A este tiempo se debe añadir el necesario para el análisis de la prueba por parte del profesional que la realiza, lo que convierte la evaluación en un proceso eficaz, pero bastante extenso.²⁰

Dentro de este enfoque, la aplicación “Ojo al Blanco” de Visionary Eye (Visionary Tool SL, España) podría desempeñar un papel relevante, ya que tiene el potencial de convertirse en una prueba eficaz de screening visual para detectar niños con dificultades lectoras y/o problemas oculomotores. En este trabajo se muestra una prueba de concepto, dado el pequeño tamaño muestral, aunque ya se han encontrado algunas diferencias estadísticamente significativas que indican un posible potencial para esta tarea. Es necesario realizar estudios prospectivos con un tamaño muestral mayor, incluyendo niños control, niños con dificultades oculomotoras, niños con dificultades lectoras y niños con ambas condiciones, como es el caso de este estudio. Si esta aplicación demuestra una buena sensibilidad y especificidad, podría facilitar el

screening de estas dificultades, realizándose de forma gamificada y mediante personal no especializado, como son los profesores del colegio. Además, dado que los resultados de este estudio se obtuvieron tras solo 30 minutos de juego, en los cuales cada participante realizó aproximadamente 2000 respuestas, y que los datos se generan automáticamente a partir de la plataforma, “Ojo al Blanco” podría ser una herramienta eficiente para optimizar el proceso de detección. Además, se podría optimizar el tiempo de juego necesario para detectar estas diferencias, ya que, en esta prueba de concepto, dicho tiempo se ha establecido considerando que era suficiente para observarlas.

4.1 Limitaciones de este estudio

Este estudio, realizado en el marco de este TFG, representa una prueba de concepto y, debido a sus limitaciones, es necesario llevar a cabo estudios adicionales con una muestra mayor. En particular, se requiere incluir niños con dificultades lectoras que no presenten alteraciones en los movimientos sacádicos, según el test DEM (Bernell Corporation, EEUU), y aplicar el mismo protocolo de pruebas en niños sin dificultades lectoras. Esto permitiría determinar el número de minutos o respuestas necesarios para discriminar entre niños sanos y niños con dificultades lectoras, así como establecer los valores del tiempo medio y mínimo de ronda entre tarjetas que podrían utilizarse para clasificarlos.

Otro aspecto relevante a considerar es que todos los participantes del grupo de estudio presentan tanto dificultades lectoras como alteraciones en los movimientos sacádicos. Por ello, no se dispone de datos sobre niños con dificultades lectoras, pero sin problemas en la motilidad ocular, lo que impide determinar si los resultados obtenidos en este estudio son aplicables a este grupo. Además, sería necesario evaluar si el test permite diferenciar entre niños con dificultades lectoras con y sin alteraciones en la motilidad ocular.

Finalmente, se debería analizar la sensibilidad y especificidad de esta prueba para valorar su viabilidad en la práctica clínica, con un posible enfoque en su implementación en entornos escolares.

5. CONCLUSIONES

Los resultados de este estudio sugieren que la aplicación gamificada “Ojo al Blanco” podría ser útil como prueba para la detección de dificultades lectoras y problemas oculomotores en niños, a través del análisis de las variables del juego, especialmente el tiempo de ronda entre tarjetas, que fue significativamente menor en este grupo. Sin embargo, debido al bajo tamaño muestral, se requieren estudios adicionales para determinar su sensibilidad y especificidad.

BIBLIOGRAFÍA

1. Al-Mahrezi A, Al-Futaisi A, Al-Mamari W. Learning Disabilities: Opportunities and challenges in Oman. Sultan Qaboos Univ Med J. 2016;16:129-131.
2. American Psychiatric Association. Trastorno específico del aprendizaje. En: American Psychiatric Association. Manual Diagnóstico y Estadístico de los Trastornos Mentales (DSM-5); Madrid: Editorial Médica Panamericana; 2014: Pag. 66-74.
3. Gobierno de España. Casi 967.000 alumnos recibieron apoyo educativo en el curso 2022-2023. www.lamoncloa.gob.es/serviciosdeprensa/notasprensa/educacion-fp-deportes/Paginas/2024/100424-apoyo-educativo-curso-2022-2023.aspx (23 de octubre de 2024).
4. Sánchez MC, Martín S, Sánchez I. Alteraciones de la visión binocular en las dificultades lectoras. Manejo desde atención primaria. Gaceta de optometría y óptica oftálmica. 2022;584:38-45.
5. Darvishi A, Rad DS, Atigh SBQ, Hamidi A, Shandiz JH, Baghini AS. The relation between the severity of reading disorder and visual functions among children with dyslexia. Taiwan J Ophthalmol. 2022;12:178-183.
6. American Optometric Association. Care of the Patient with Learning Related Vision Problems. <https://www.aoa.org/AOA/Documents/Practice%20Management/Clinical%20Guidelines/Consensus-based%20guidelines/Care%20of%20Patient%20with%20Learning%20Related%20Vision%20Problems.pdf> (22 de octubre de 2024).
7. Dell'Osso LF, Daroff RB. Características y técnicas del registro de los movimientos oculares. Neurooftalmología, Salvat. 1981;181-91.
8. Martín R, Vecilla G. Músculos extraoculares. Leyes de motilidad. En: Martín R, Vecilla G. Manual de Optometría; Madrid: Editorial Médica Panamericana; 2018: Pag. 151-159.
9. Gila L, Villanueva A, Cabeza R. Fisiopatología y técnicas de registro de los movimientos oculares. Anales del Sistema Sanitario de Navarra. 2009;32:9-26.
10. González-Mejía J. Evaluación de los movimientos sacádicos con la prueba DEM en niños. Imagen Óptica. Periodismo con Visión. 2020;22:52-55.
11. Orduna-Hospital E, Navarro-Marqués A, López-de-la-Fuente C, Sanchez-Cano A. Eye-Tracker Study of the Developmental Eye Movement Test in Young People without Binocular Dysfunctions. Life (Basel). 2023;13:773.
12. Wertli J, Schötzau A, Palmowski-Wolfe A. The Influence of Age on Eye Movements during Reading in Early Elementary School Children. Klin Monbl Augenheilkd. 2023;240:591-598.
13. Premeti A, Bucci MP, Isel F. Evidence from ERP and Eye Movements as Markers of Language Dysfunction in Dyslexia. Brain Sci. 2022;12:73.
14. Carter BT, Luke SG. Best practices in eye tracking research. International Journal of Psychophysiology. 2020;155:49-62.
15. Coulter RA, Shallo-Hoffmann J. The presumed influence of attention on accuracy in the developmental eye movement (DEM) test. Optom Vis Sci. 2000;77:428-432.
16. De Luca M., Di Pace E., Judica A., Spinelli D., Zoccolotti P. Eye movement patterns in linguistic and non-linguistic tasks in developmental surface dyslexia. Neuropsychologia. 1999;37:1407-1420.
17. Biscaldi M., Fischer B., Hartnegg K. Voluntary Saccadic Control in Dyslexia. Perception. 2000;29:509-521.
18. Eden GF, Stein JF, Wood HM, Wood FB. Differences in eye movements and reading problems in dyslexic and normal children. Vision Res. 1994;34:1345-58.
19. Bilbao C, Piñero DP. Objective and Subjective Evaluation of Saccadic Eye Movements in Healthy Children and Children with Neurodevelopmental Disorders: A Pilot Study. Vision (Basel). 2021;5:28.
20. Hogrefe TEA Ediciones. PROLEC-R. Batería de Evaluación de los Procesos Lectores Revisada. <https://web.teaediciones.com/PROLEC-R-Bateria-de-Evaluacion-de-los-Procesos-Lectores--Revisad.aspx> (30 de enero de 2025)