



UNIVERSIDAD DE VALLADOLID



# ANÁLISIS DE LOS MOVIMIENTOS OCULARES EN PACIENTES CON PROBLEMAS DE VISIÓN BINOCULAR

GRADO EN ÓPTICA Y  
OPTOMETRÍA MEMORIA  
TRABAJO FIN DE GRADO  
TITULADO

Tutora: Irene Sánchez Pavón

Año de defensa: 2022 (curso 2021-2022)

Autor: MARÍA ISABEL ALISTE HERRERA

Tipo de TFG:  Revisión x Investigación

Fecha de presentación: 28/5/2022

## ÍNDICE

RESUMEN .....	[página 2]
ABSTRACT .....	[página 3]
1. INTRODUCCIÓN .....	[página 4]
2. MATERIAL Y MÉTODO .....	[página 6]
2.1. Diseño .....	[página 6]
2.2. Material .....	[página 6]
2.3. Metodología .....	[página 7]
2.4. Análisis estadístico .....	[página 9]
3. RESULTADOS .....	[página 10]
3.1. Análisis del test del reloj, movimientos sacádicos y fijaciones .	[página 10]
3.2. Análisis de los resultados del test de la pelota, movimientos de seguimiento .....	[página 14]
4. DISCUSIÓN .....	[página 17]
4.1. Limitaciones .....	[página 19]
5. CONCLUSIÓN .....	[página 19]
6. BIBLIOGRAFÍA .....	[página 20]
ANEXOS	
Anexo I. Dictamen favorable del comité ético de investigación con medicamentos de la universidad de Valladolid .....	[página 21]

## RESUMEN

### Introducción:

Los movimientos oculares son desplazamientos de los ojos para conseguir obtener información del mundo exterior. Para obtener la imagen más fiable, se tienen que desplazar conjuntamente y fijar en el mismo punto. Algunas alteraciones del desarrollo visual (factores ambliogénicos), pueden afectar a los movimientos oculares. El objetivo final de este estudio, es el de poder identificar de manera precoz a los niños con problemas ambliopizantes, en edad preverbal, mediante tecnología eye tracker, para remitir cuanto antes y poder garantizar el correcto desarrollo visual. En este trabajo, se va a realizar un estudio piloto inicial en adultos sin corrección, para identificar las variables principales.

### Material y métodos:

A todos los pacientes del estudio se les han realizado las mismas pruebas, medida de la AV, cover test, MOE, MOI, medida de la dominancia motora y sensorial y si la  $AV < 1$  se realiza refracción subjetiva. Los pacientes del estudio pertenecen a dos grupos, aquellos que presentan alguna anomalía en su desarrollo visual y los que son considerados como sanos, que pertenecerán al grupo control. Se ha realizado un análisis cualitativo de los resultados.

### Resultados:

Tras el estudio de los resultados, se aprecian las diferencias cualitativas, en cuanto al movimiento de ojos sanos y ojos con alteraciones de la visión binocular, en el neurodesarrollo. Los registros de los ojos sanos presentan sacadas precisas, sin interrupciones entre los puntos a los que se le ordena mirar, con fijaciones muy agrupadas en el punto en el que se pide que mire.

### Conclusiones:

Después de la realización del estudio, se ha comprobado que la tecnología eye tracker, puede ser útil para el screening visual, aunque es necesario realizar más medidas, mejorar el protocolo y ponerlo a prueba en población infantil.

## **ABSTRACT**

### **Introduction:**

Ocular movement is the displacement of the eyes in order to gather information from the outside world. To obtain the most reliable image possible, both eyes need to move together and fix on the same point. Some alterations in visual development (amblyogenic factors) can affect eye movement. The aim of this study is to be able to identify early, children in preverbal age with amblyopian problems, through eye tracker technology, to guarantee a correct visual development. In this dissertation, an initial pilot study will be carried out in adults without correction so as to identify the main variables.

### **Material and methods:**

All patients in the study have undergone the same tests (visual acuity, cover test, extrinsic ocular motility, intrinsic ocular motility, measurement of motor and sensory dominance and if the visual acuity is  $<1$ , then a subjective refraction is performed). The patients in the study belong to two groups, those who present some anomaly in their visual development and those who are considered healthy, who will belong to the control group. A qualitative analysis of the results has been carried out.

### **Results:**

After the study of the results, the qualitative differences are verified, in terms of the movement of healthy eyes and eyes with alterations of binocular vision, in neurodevelopment. The records of healthy eyes present precise saccades, without interruptions between the points to which patients are ordered to look, with very grouped fixations at the point where they are asked to look.

### **Conclusion:**

After the study, it has been proven that eye tracker technology can be useful for visual screening, although it is necessary to adopt more measures, improve the protocol and test it in children.

## 1.INTRODUCCIÓN

Los movimientos oculares son pequeños desplazamientos que realizan los ojos, para conseguir obtener información visual del punto al que se quiere mirar, pero el proceso para poder llegar a realizarlos, no es tan sencillo, por la implicación de sistema nervioso central.<sup>1,2</sup>

El modelo ideal de movimiento ocular, es aquel desplazamiento que se realiza de manera conjugada por ambos ojos, de modo que se desplazarán la misma cantidad en el mismo sentido y permitiendo fijar la imagen en la fóvea (bifovealmente), obteniendo así la imagen más estable del entorno.<sup>2,3</sup>

Pero existen personas, tanto niños como adultos, cuyos movimientos oculares no cumplen con esta condición, por un incorrecto desarrollo visual o por un mal alineamiento en sus ejes,<sup>4,5</sup> lo que implica confusión en el cerebro, que desarrolla adaptaciones sensoriales, sobre todo cuando las imágenes proyectadas en las retinas, provienen de regiones del espacio objeto distintas y no será posible la construcción de la imagen binocular.<sup>2</sup> También puede ocurrir, si la imagen formada en una de las dos retinas es deficiente (o incluso las dos). Los factores ambliopizantes que provocan esta alteración de movimientos oculares, son la privación; un error refractivo alto, miopía, hipermetropía o astigmatismo; la anisometropía y/o el estabismo.<sup>6</sup>

La ambliopía se define como la disminución de agudeza visual, causada por un desarrollo visual anormal, secundario a una estimulación visual deficiente, que habitualmente está provocada, por uno de los factores mencionados anteriormente.<sup>7</sup>

Si la alteración se produce en el desarrollo inicial y/o es severa, se va a producir nistagmo,<sup>8</sup> que sería la mayor alteración posible del desarrollo visual y la mayor alteración de los movimientos oculares, normalmente su factor ambliogénico es la deprivación casi total de la visión, de uno o ambos ojos. Si la alteración es más tardía, se producirán alteraciones leves de la MOE, que pueden pasar más inadvertidas.<sup>9</sup>

La realización de un screening visual ayuda a la detección precoz de los factores ambliopizantes, que pueden alterar el desarrollo visual. La importancia del screening visual radica, en que es durante este periodo, cuando el sistema visual se va a desarrollar y si no hay una correcta compensación, que permita correspondencia bifoveal con imágenes igual de nítidas, no se adquirirán las máximas capacidades a las que podría llegar en condiciones normales y se producirán alteraciones motoras, entre otras funciones.<sup>10,11</sup> Anatómicamente, la retina está en perfectas condiciones y la capa de fibras nerviosas no disminuirá su grosor, a pesar de no llegarle los impulsos nerviosos que deberían, por lo que si se corrige la desviación o la borrosidad de la imagen, se conseguirá una correcta agudeza visual, si todavía no ha acabado el periodo de desarrollo.<sup>2,12,13</sup>

Es habitual que la ambliopía no presente síntomas. En los niños no se va a manifestar diplopía, ni dolor de cabeza, en muchos casos no se van a quejar de

mala visión o de cansancio por mantener una tarea en cerca, puede que se muestre distraído si la limitación visual les impide realizar algún cometido, pero no lo verbalizarán de forma adecuada.<sup>10,11</sup>

Otro factor que puede influir en la dinámica ocular es la agudeza visual, por lo que la refracción del paciente, será importante para identificar movimientos oculares adecuados o no. Para ello, también es necesario conocer la refracción del sujeto, ya que será una variable a tener en cuenta, en la afectación de la calidad de los movimientos oculares. A mayor error refractivo, se producirá mayor amplitud de las microsacadas, las cuales van a influir en la trayectoria del ojo e intervienen en la fijación, aspecto que puede registrarse mediante eye tracker, debido a que precisamente éstas, son las que va a medir, si es una fijación precisa o si es de aspecto inestable, lo que nos hará diferenciar un ojo sano, de uno que padezca un factor ambliogénico y sea susceptible de tener ambliopía o que pueda aparecer.<sup>14</sup>

Con todo ello, el objetivo final de este estudio, es el de poder identificar de manera precoz, a los niños con problemas ambliopizantes, en edad preverbal, mediante tecnología eye tracker, para remitir cuanto antes y poder garantizar el correcto desarrollo visual. En este trabajo, se va a realizar un estudio piloto inicial en adultos sin corrección, para identificar las variables principales.

Posteriormente, el objetivo sería repetir el estudio en niños con las consideraciones oportunas, para poder realizarlo en consultas pediátricas y poder ir discriminando la presencia o ausencia de ambliopía o sus precursores de forma rápida y sin necesidad de personal especializado.

## **2. MATERIAL Y MÉTODO**

### **2.1 Diseño**

En el estudio, se han incluido voluntarios, de entre 18 a 35 años, que hayan tenido alguna anomalía en el desarrollo de su sistema visual, por ejemplo, usado parche de pequeños o que presenten una desviación manifiesta de uno de sus ojos. Por otro lado, voluntarios sin ningún tipo de problema de visión binocular o error refractivo, como grupo de control.

Todos los pacientes del estudio, se presentaron voluntariamente y aceptaron las condiciones bajo las cuales se realizaba. De igual manera, conocían la naturaleza del mismo y firmaron el consentimiento al que está suscrito este estudio. Así mismo, este estudio ha sido aprobado por el comité ético de investigación clínica que atiende a la Universidad de Valladolid (Valladolid Este) (Anexo I).

### **2.2 Material**

Para el estudio, se utilizó el material de gabinete, del aula 316 de la Facultad de Ciencias. El foróptero manual modelo VT-10, (Topcon, Japón); un oclisor para realizar el cover test y medir la agudeza visual (AV-optotipos snellen) con corrección y sin corrección; una lente de una dioptría positiva, para medir la dominancia sensorial y un frontofocómetro modelo CL-300 Computerized lensmeter-(Topcon, Japón), para medir la graduación de aquellas personas que utilizasen gafas y alcanzasen agudeza visual 1'0, con ellas.

Para las pruebas realizadas con registro de movimientos oculares, se utilizó el eye tracker Tobii4c (Tobii Tech, Suecia), colocado sobre una barra magnética que se encontraba adherida al ordenador portátil Lenovo con sistema operativo Windows 10 Pro, Intel Corei5 7200u CPU: 2'5 GHz 2'75 GHz, memoria RAM 8GB y 64bits. Gracias a esta combinación se obtuvieron datos, que fueron registrados con el software PsiMesh, desarrollado por el Centro Integral de Neurociencias Aplicadas (CINA) (Neufitech S.R.L., Bahía Blanca, Argentina). La distancia entre el ordenador y el paciente era de sesenta centímetros.

Las pruebas con eye tracker se han realizado de manera monocular y binocular de forma randomizada, al finalizar cada uno de los tests, se ha comprobado que los resultados se habían guardado y eran coherentes, para su posterior análisis. Sin embargo, en algunos casos los resultados se visualizaban algo descentrados respecto al test, sin saber que eso podía indicar una pérdida de algunos puntos de registro.

### 2.3 Metodología

Se comienza comprobando la AV del paciente, con su corrección y sin ella, en caso de que con sus gafas no consiga ver unidad, se le realizará refracción subjetiva, ya que es necesario comprobar cuál es su visión con la mejor corrección para poder clasificar al paciente, en grupo de control o grupo de estudio.

Si el paciente es portador de gafas y al medir su agudeza visual con ellas, alcanza unidad, se medirá la refracción en el frontofocómetro. En caso contrario, se le realizará refracción subjetiva.

Posteriormente hay que medir la dominancia motora, mediante la técnica de The Hole in the Card (figura 1), que consiste en fijar un estímulo en visión lejana, e ir acercándose las manos en forma de rombo hacia la cara, hasta que el agujero hecho con las mismas, sólo permita ver por un ojo, éste va a ser el dominante motor, o lo que es lo mismo, es el encargado de prevalecer la fijación cuando el sistema visual se está comportando de manera binocular. También hay que medir, la dominancia sensorial, en visión lejana, colocando delante de cada ojo una lente de +1D y el que vea peor, será el dominante sensorial, lo que quiere decir que, es el que prioriza su imagen, frente al contralateral en el cerebro.

**Figura 1:** “The Hole in the Card”, es un test que muestra cómo el sujeto tiene que colocar las manos para identificar su ojo dominante motor.  
Imagen extraída de: “Omotesando Oftalmología”



Se comprueba que la motilidad ocular extrínseca (MOE) (figura 2) y los reflejos pupilares (MOI) (figura 3) son los adecuados gracias a un puntero con luz.

**Figura 2:** Comprobación de la MOE  
Imagen extraída de: “Key Aspects to Eye Examination: Quick Start Guide”



**Figura 3:** Comprobación de la MOI  
Imagen extraída de: “Slideplayer”



Después se realiza el cover test, comprobando así el estado de las forias o tropias, al ser un criterio de clasificación de los pacientes.

Antes de comenzar con las pruebas en el ordenador, se debe calibrar el eye tracker para cada paciente, para que las medidas sean exactas.

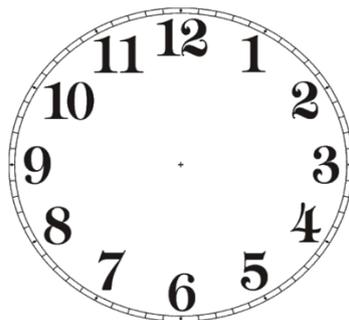
Para la toma de medidas con los tests que se explicarán a continuación, se dispone al paciente delante del ordenador sin corrección a 60 cm y se le indica que cambie de punto de fijación en el momento en el que investigador se lo indique, puede girar la cabeza, pero debe mantener la espalda apoyada en el respaldo cómodamente.

Los tests utilizados son los siguientes:

-Test del reloj (figura 4): el explorador dictaminará hacia que números tiene que mirar el paciente, citando la misma pareja, cinco veces seguidas, hasta que se finalice la esfera horaria. El propósito es realizar sacádicos en todas las direcciones, utilizando el reloj como referencia, por ese motivo se usan los números, siendo las parejas a fijar:

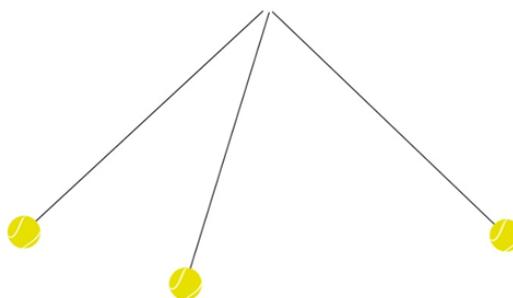
12-6 (repitiéndose 5 veces); 1-7 (5 veces); 2-8 (5 veces); 3-9 (5 veces); 4-10 (5 veces); 5-11 (5 veces).

**Figura 4:** Test del reloj. Imagen extraída de: “PsiMESH Neufisur Optometría”



-Test de la pelota: el explorador indicará, que se debe seguir el movimiento pendular de la pelota, hasta que él indique la finalización de la prueba, en este momento la pelota ha debido pasar cinco veces por el lado derecho de la pantalla y otras cinco por el izquierdo.

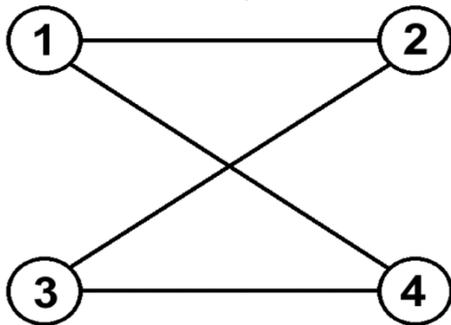
**Figura 5:** Test de la pelota. Imagen extraída de: “PsiMESH Neufisur Optometría”



Se realizaron otros dos test más, que presentaban movimientos horizontales (figura 6) y en zigzag (figura 7), pero los tests que se han analizado para el estudio son el reloj y la pelota. En los otros dos test la información podría ser similar, pero no permitían un correcto estudio ni valoración, ya que en muchos resultados, los registros no habían sido captados por el eye tracker, presentado un registro cortado, perdiendo información y muchos otros no aportaban datos significativos.

**Figura 6:** Test de movimientos horizontales

Imagen extraída de: "PsiMESH Neufisur Optometría"



**Figura 7:** Test de zigzag

Imagen extraída de: "PsiMESH Neufisur Optometría"



## 2.4 Análisis estadístico

Los datos clínicos se recogieron mediante una hoja de Excel en el ordenador Acer con sistema operativo Windows 10 Home, con un procesador Intel(R) Core(TM) i3-5005U CPU @ 2'00GHz, RAM de 8'00 GB y sistema operativo de 64 bits. Se analizaron mediante estadística descriptiva, para conocer detalladamente la muestra del estudio. En esta fase inicial del proyecto, el análisis de los registros obtenidos con el eye tracker, se ha realizado de forma cualitativa, para observar y describir las diferencias entre grupos, para posteriormente encontrar una métrica matemática, que permita analizar los registros de forma automática, emitiendo el juicio clínico de sano o alterado.

### 3 RESULTADOS

El grupo de control estaba formado por 12 pacientes con una edad media de 28 años y en el caso del grupo de pacientes con problemas de visión binocular, fueron 17 con una media de edad de 29 años.

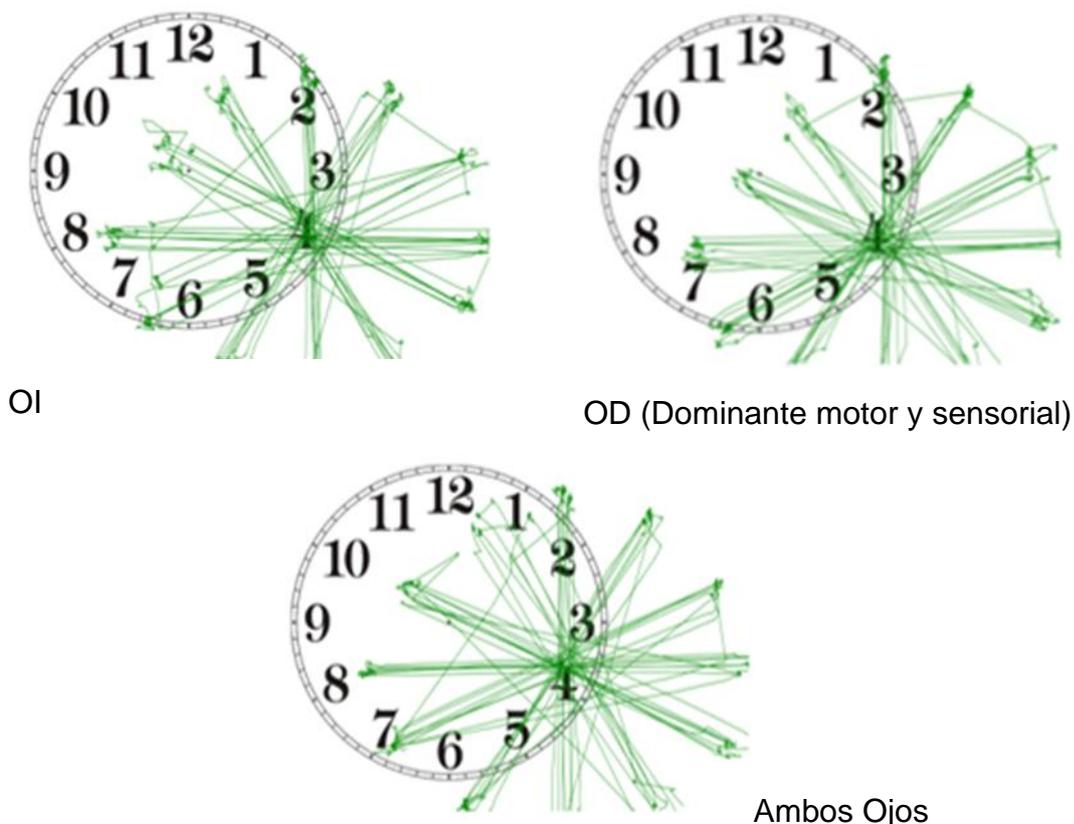
El error refractivo medio del grupo de estudio es de +1D esférica, rango desde (-7'5D a +5'75D). Los participantes con ambliopía son siete, con estrabismo son ocho y con ambas, dos. El grupo control no presentaba error refractivo ni alteración de ningún tipo.

#### 3.1. Análisis del test del reloj, movimientos sacádicos y fijaciones

En las gráficas del reloj los pacientes emétopes, presentan un recorrido de los ojos lineal, con movimientos sacádicos limpios (sin fijaciones intermedias) y bastante precisos o certeros con respecto al número al que se les mandaba mirar. Las fijaciones son estables. Se muestra como ejemplo en la figura 8, los registros del paciente 16.

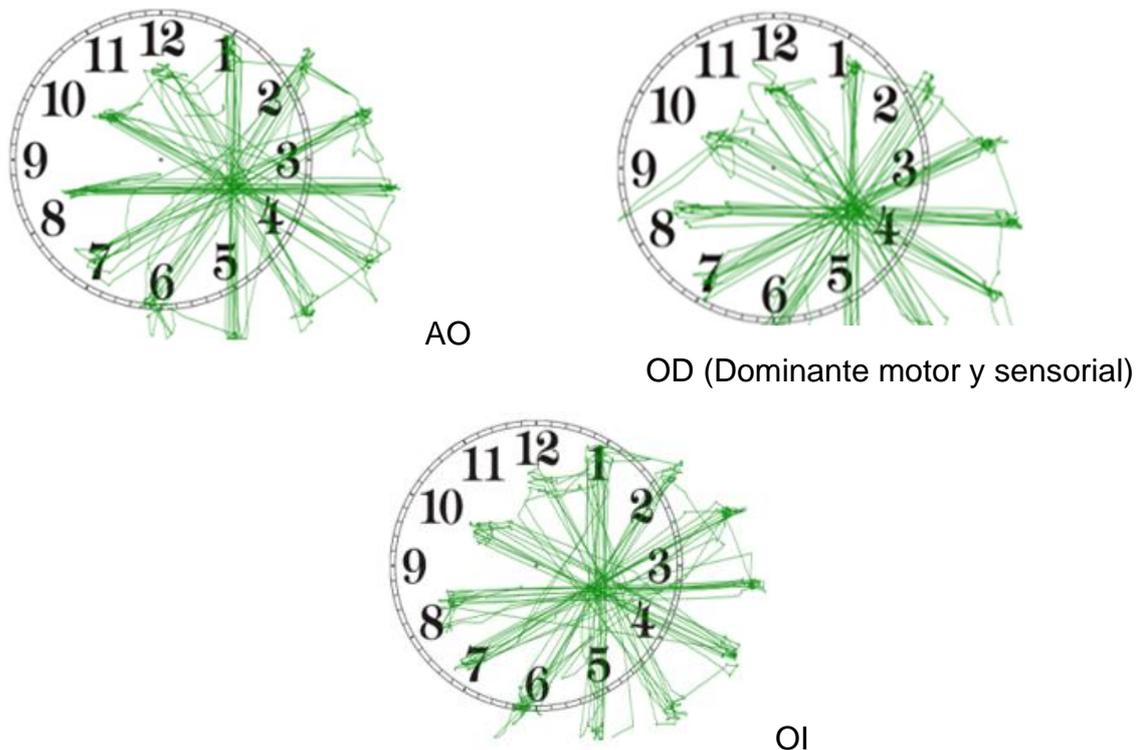
Las veces que se presenta una trayectoria errática en el seguimiento de los números, se asume que el paciente se ha distraído o que se ha confundido, pero esto ocurre en escasas ocasiones (figura 8).

**Figura 8:** Paciente 16, ejemplo de paciente emétopes, con un registro normal en el test del reloj.



De igual modo en la figura 9 se presenta un sujeto con: +1'25 en el OD y -0'5 en el OI, AV 1'0 sin corrección. En el registro se observa cómo las fijaciones son estables y agrupadas, ya que es un paciente joven y puede acomodar perfectamente su ametropía, además de no presentar ningún problema de visión binocular, aquellas que no lo están, son producto de una distracción por parte del paciente.<sup>15</sup>

**Figura 9:** Paciente 19, OD +1'25/OI -0'5, con AV 1'0 en ambos ojos sin corrección. Ejemplo de paciente sano, con ciertas trayectorias erróneas en los movimientos oculares.

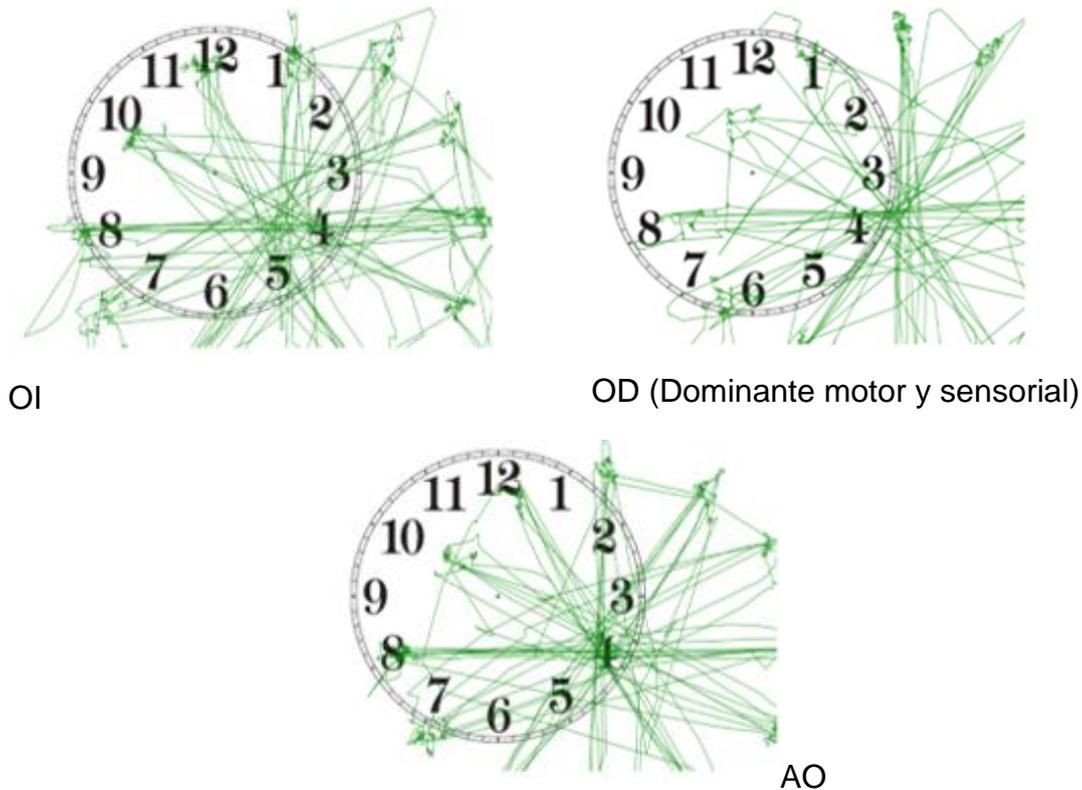


Por su parte los pacientes con problemas de visión binocular, presentan unas sacadas irregulares, la trayectoria no es la que deberían seguir, aparecen fijaciones intermedias, que en muchos casos no están alineadas con los números que se ha indicado mirar, además las sacadas no son precisas, en numerosas situaciones se sitúan alrededor del número, pero no sobre él, necesitando microsacadas de refijación para cumplir con la tarea. Las fijaciones tampoco son estables y se observan varias sobre el mismo punto o cierta deriva en las mismas. En resumen, el movimiento no es limpio, ni preciso, en ninguno de los ojos, pero sobre todo con el ojo ambliope, a pesar de ser ojos que ven 1'0 en algunos casos.

En la imagen (figura 10) se observan movimientos irregulares, con unas fijaciones inestables y trayectorias erróneas, datos que se ven con mayor claridad en el OI, ya que con el ojo dominante (OD) esto mejora, al igual que binocularmente. Aunque el registro está cortado por salirse los movimientos

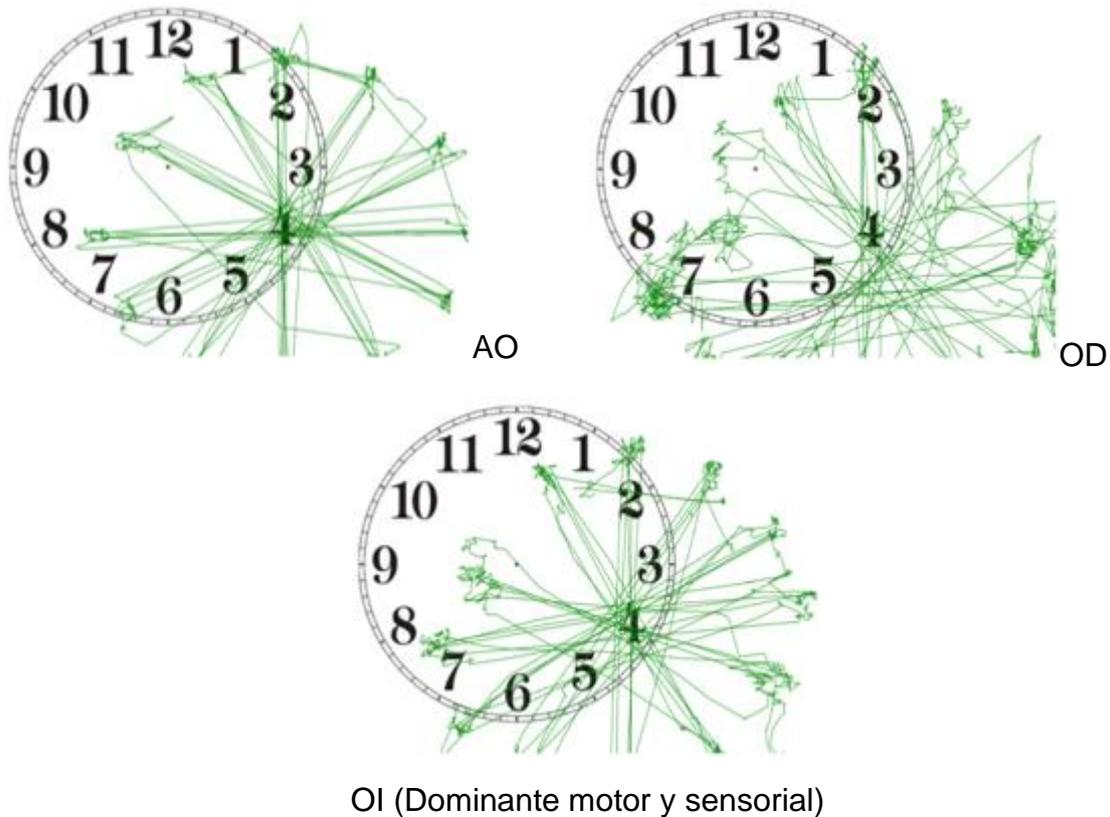
oculares del área de registro del eye tracker, se pueden observar diferencias significativas respecto a los del emétrope.

**Figura 10:** Paciente 10 Hipermétrope con endotropía en OD, AVsc OD:<0'05 y OI: <0'05. Ambliopía rehabilitada. Ejemplo de paciente hipermétrope con endotropía, con unos resultados del test del reloj alterados.



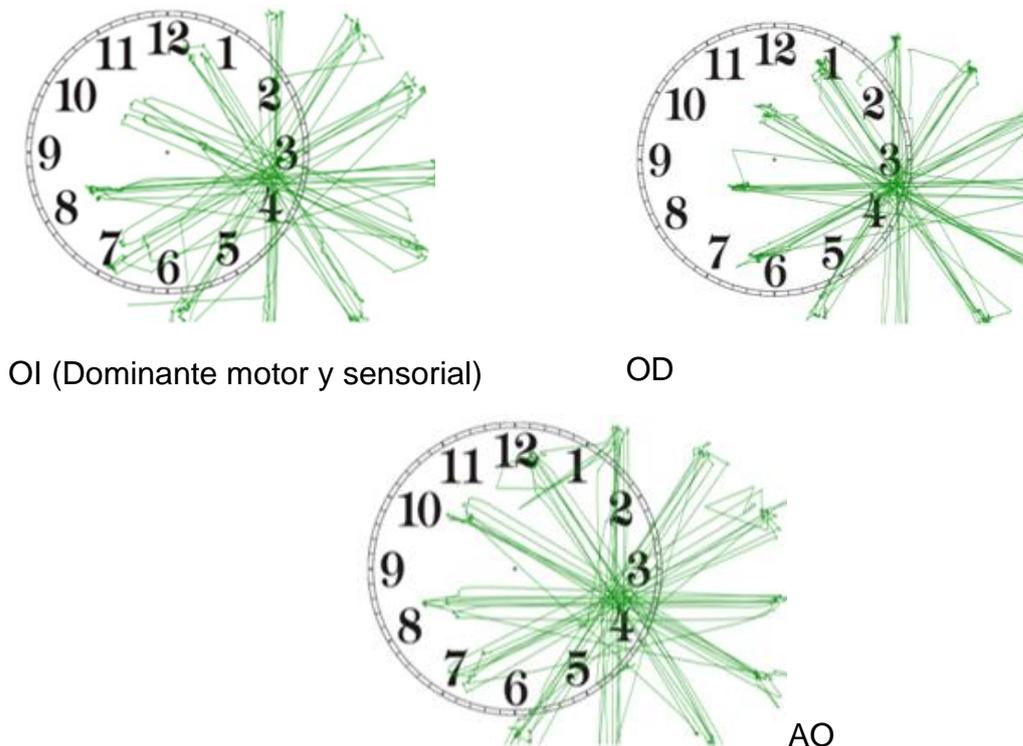
En la figura 11 se observan los resultados de un paciente hipermétrope con ambliopía, concretamente endotropía en el OD. Cuando el paciente tenía 4 años, su ambliopía fue tratada mediante el método de oclusión teniendo ahora una AVcc OD=1/OI=1. Se pueden observar trayectorias erróneas, fijaciones inestables, sacadas imprecisas que no se ubican sobre el número al que se le manda mirar, realizando así fijaciones intermedias y microsacadas de refijación, provocando que el movimiento no sea limpio ni preciso, sobre todo en el ojo ambliope. Cuando al paciente se le muestran los test en el ojo contralateral, estos aspectos mejoran y de modo binocular, mejoran aún más. Este paciente consigue una AVsc OD=0'9/OI=0'7.

**Figura 11:** Paciente 5, Ejemplo de un hipermétrope con endotropía en OD, con resultados del test del reloj alterados.



En los siguientes registros se muestra a un paciente operado de estrabismo y en ellos se observan fijaciones más estables y trayectorias más limpias con sacádicos mas precisos (figura 12) en comparación con aquellos pacientes que no han sido operados de su desviación. Sin embargo, es complicado obtener un resultado tan bueno, tras una cirugía de estrabismo, ya que es una cirugía manual.<sup>16</sup> Este paciente, fue operado con 5 años, obteniendo unos resultados muy buenos, además de conseguir una visión aceptable sin gafas, (AVsc OD=0'6/OI=0'7). Su estereopsis es de 240" en el test TNO y 160" con el Titmus.

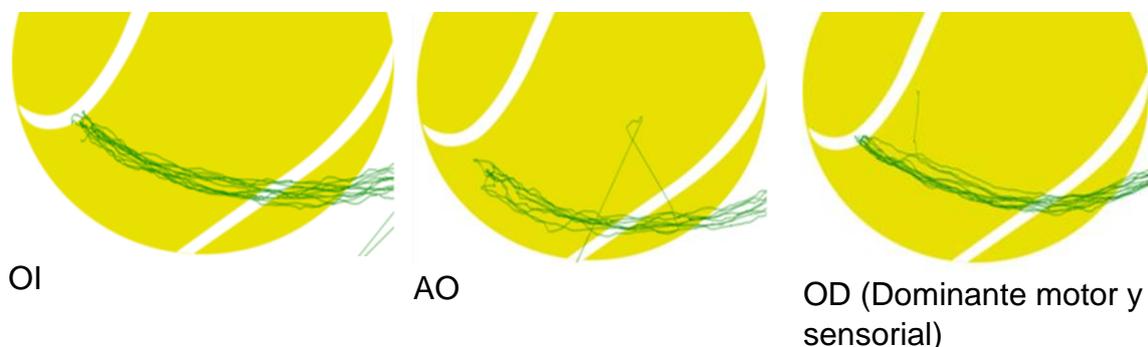
**Figura 12:** Ejemplo del paciente 13 operado de estrabismo que consigue un registro más cercano a la normalidad.



### 3.2. Análisis de los resultados del test de la pelota, evaluación de movimientos de seguimiento

Se presenta un paciente emétrope que realiza movimientos de seguimiento precisos, lo cual indica que pertenece al grupo de sanos. También se observa como el movimiento de seguimiento, se desvía de la trayectoria de la pelota, lo que en este caso indica que es probable que el paciente se distrajera, o perdiese la concentración a lo largo de la prueba.

**Figura 13:** Ejemplo de paciente (paciente 16) emétrope, con un registro normal en el test de la pelota.



Los pacientes con problema de visión binocular, presenta problemas en ambos test (reloj y pelota). Indicando así que existe una alteración tanto de movimientos sacádicos y fijaciones, como de movimientos de seguimiento. En la figura 14 se

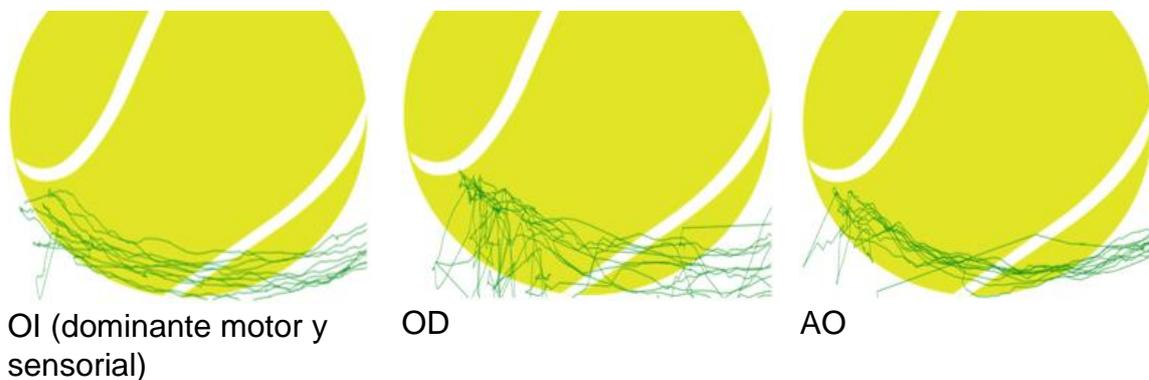
observa la mala actividad del ojo izquierdo, frente al dominante y sano, además de su actuación en conjunto (AO) binocularmente.

**Figura 14:** Resultados de un paciente con problemas de visión binocular. Paciente 11, Endotropía OI. AV OD=1/OI=0'8.



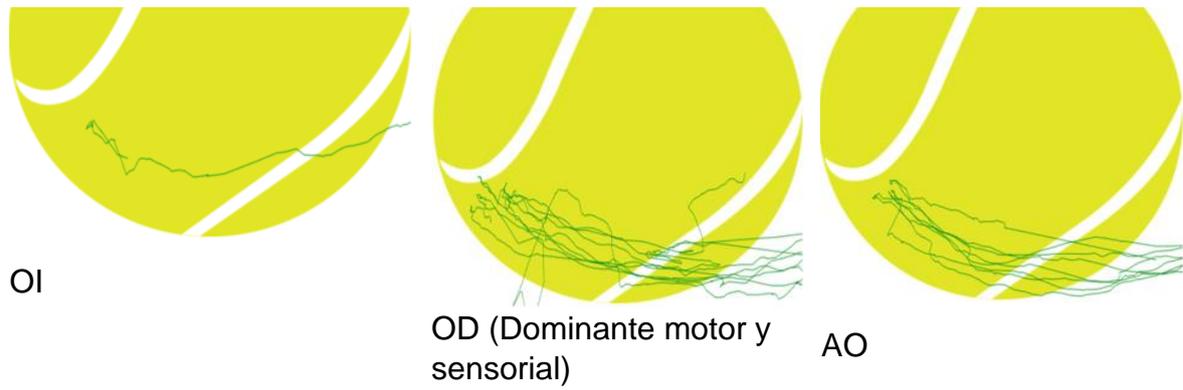
En la figura 15, se recogen los datos de un paciente hipermetrope, con AV muy baja sin corrección y que presenta ambliopía rehabilitada en el ojo derecho, mediante el método de la oclusión, cuando tenía 4 años. Además, este mismo ojo presenta también estrabismo. Por ello, los movimientos de seguimiento son malos y en su lugar aparecen movimientos en dientes en sierra, sobre todo en el ojo derecho, las fijaciones son inestables, la trayectoria errónea y las sacadas irregulares. Su estereopsis no puede ser muy buena, obteniéndose 240" en el TNO y 140" en el Titmus.

**Figura 15:** Ejemplo de hipermetrope (paciente 10) con 7 dioptrías prismáticas de endotropía rehabilitada y estrabismo en el OD. AVsc≤0'05.



En los resultados de algunos pacientes, con problemas de visión binocular, en este caso endotropía (figura 16), no se han obtenido registros, probablemente debido al ojo desviado, por hecho de que el desplazamiento de este eje visual, es tan significativo que el eye tracker no es capaz de detectar la pupila. Sin embargo, al hacer la prueba binocular, el aparato es capaz de identificar el movimiento de los ojos, ya que el ojo dominante ha retomado su función y al permitir la fusión se puedan obtener registros, sin embargo del ojo derecho, el registro que se obtiene es una trayectoria irregular, con desviaciones significativas con respecto a la trayectoria de la pelota.

**Figura 16:** Ejemplo de cómo el ojo desviado es captado por el eye tracker.  
Paciente 9 Endotropía OI.



## 4. DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos a lo largo del estudio muestran diferencias cualitativas entre ojos sanos y ambliopes, estas disimilitudes se deben a un desigual comportamiento en la dinámica ocular debido a las diferencias en el desarrollo visual en su infancia, teniendo en cuenta que el grupo de ojos no sanos, es bastante heterogéneo, ya que se incluyen ambliopías y estrabismos que tuvieron diferentes tratamientos y diferentes resultados.

Las causas por las que aparece la ambliopía son diversas, se puede hablar de condiciones ametrópicas, como puede ser, hipermetropía que comúnmente desvía los ejes visuales hacia nasal o astigmatismo, que es un factor ambliopizante muy importante en niños. También se puede hablar del estrabismo, ya que es otro factor ambliogénico, al igual que la anisometropía, o incluso la privación, aunque no es el factor más habitual.<sup>6</sup>

Comparando el movimiento de los ojos en sujetos sanos y en pacientes con ambliopía, se obtienen diferencias significativas, las cuales, si se consiguen cuantificar de forma matemática para automatizar su detección, marcarían el criterio de remisión del paciente pediátrico al oftalmólogo.

En este trabajo, se ha podido observar que para un correcto screening es probable que sea necesario realizar la prueba de forma monocular o con un eye tracker binocular, ya que si se tiene en cuenta la figura 16 se observan fijaciones inestables e irregulares, sobre todo en el ojo izquierdo, que es el que presenta la desviación, ya que de manera binocular, el defecto de visión se ve compensado. Sin embargo, sería necesario realizar pruebas con un eye tracker binocular, esto aumentaría sensiblemente el presupuesto.

Lo que si se ha podido evidenciar en este estudio, es que si se compara un paciente con anomalías de visión binocular (figuras 10,11,14,15 y 16), con un paciente sano, se observa que en éste, las fijaciones son estables y la trayectoria regular (figuras 8,9 y 13). Por lo que a simple vista se podría hacer una ligera labor de screening, aunque el fin último de este proyecto, será automatizar el juicio clínico comparando con un registro gold estándar, formado por patrones de ojos sanos que delimiten el rango de normalidad, para evitar la necesidad de profesional especializado.

También, se ha podido comprobar que los pacientes sanos, pueden realizar trayectorias erróneas al presentarle el test, al tratarse de un paciente sin problemas de visión binocular, se asume que éstas, son provocadas por distracciones, las cuales van a influir en el correcto procesamiento de la información y han supuesto una limitación del análisis. Según un artículo publicado por Wu D y colaboradores,<sup>15</sup> indica que una menor distracción, favorece un correcto entendimiento del mensaje, permitiendo un mayor número de fijaciones y longitudes de movimientos sacádicos más cortas. Lo que se evidencia en las figuras 8 y 9 y puede justificar que en este trabajo, con el bajo tamaño muestral no se pueda delimitar de forma clara lo que sería un patrón correcto de uno deficiente y objeto de remisión.

Un método de screening con eye tracker, presentará las ventajas de ser objetivo, barato, requerir poco tiempo y poca colaboración, además de poderse gamificar, en contraposición a otros métodos tradicionales.<sup>17</sup>

Otro estudio publicado por Al-Haddad C,<sup>10</sup> y colaboradores, demostró un déficit significativo en los movimientos oculares, en los pacientes con problemas de visión binocular, cuando éstos se someten a una prueba de lectura, es decir, una tarea en cerca, así como la identificación de un elemento en una fotografía llena de gente, en comparación con sujetos sanos. Además, éstos mostraron menor número de fijaciones, pero fijaciones más largas.

Si se tiene en cuenta que las fijaciones eran de mayor duración, estaríamos explicando por qué, en este estudio las fijaciones son tan inestables, ya que el paciente necesita refijar el test, en varios momentos durante la prueba porque se les exigían fijaciones, de al menos 3 segundos.

Otros autores han encontrado resultados robustos realizando pruebas de lectura. Sería interesante realizar una prueba de lectura, sin embargo, el objetivo es la realización de un screening visual y para ello, lo más conveniente es realizarlo hacia los 3 años, para favorecer la corrección de la ambliopía, el inconveniente es que a esta edad no saben leer.

Shi XF y colaboradores,<sup>18</sup> estudiaron la relación de los déficits visuales en la ambliopía anisométrica y los movimientos oculares microsacádicos de refijación, usando un eye tracker y comparándolos con un grupo de control. Obteniendo un menor número de movimientos microsacádicos de refijación, que mostraban amplitudes aumentadas y velocidades máximas aumentadas. Estos movimientos microsacádicos de refijación eran distintos de los del grupo de control.

En el estudio se han obtenido resultados coherentes con lo que Shi XF y colaboradores mencionan, ya que los pacientes no sanos han descrito movimientos sacádicos de refijación, distintos a los de un paciente sano, como se puede observar en las figuras 10,11,14 y 15.

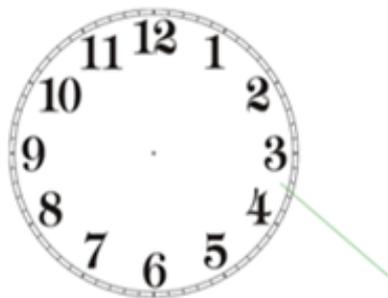
Ghasia FF y colaboradores,<sup>19</sup> realizaron un estudio para evaluar la influencia de la borrosidad visual, inducida por un error de refracción no corregido, en microsacadas y sacadas. Comprobaron que la amplitud de las microsacadas aumentó sistemáticamente, con un aumento en el error de refracción no corregido. Llegando a la conclusión de que la borrosidad visual, producida por el error de refracción sin corregir, influirá en la precisión de la imagen en la fóvea, jugando un papel importante, en cómo se realizan las microsacadas.

En el estudio, se comprueba lo que Ghasia FF y colaboradores obtuvieron, ya que los pacientes realizaron los test sin corrección, incluidos los del grupo de estudio, los cuales además de presentar anomalías de visión binocular, son amétropes. Así se puede observar cómo la amplitud de las microsacadas aumenta, si se compara con los pacientes del grupo de control.

## 4.1 LIMITACIONES

La principal limitación de este estudio es el bajo tamaño muestral y que es necesario mejorar los test para minimizar la fatiga y controlar el factor de aprendizaje. En algunos casos de pacientes con problemas de visión binocular, se han encontrado resultados en blanco (figura 17 y figura 18), es debido a que el aparato no ha podido identificar el ojo desviado, ya que este desplazamiento de los ejes visuales es tan evidente, que el eye tracker no identifica el ojo desplazado, al no tratarse de un eye tracker binocular.

**Figura 17:** Ejemplo de resultado en blanco en un paciente con problema de visión binocular en el test del reloj.



Paciente 29 (AO)

**Figura 18:** Ejemplo de resultado en blanco en un paciente con problemas de visión binocular en el test de la pelota.



Paciente 9 (OI)

## 5.CONCLUSIÓN

Tras la realización del estudio sobre el análisis de los movimientos oculares en pacientes con problemas de visión binocular, se observan diferencias cualitativas, que con un tamaño muestral mayor podrían cuantificarse en parámetros obtenidos con eye tracker, que sirvan para diferenciar ojos sanos de ojos con alteraciones del desarrollo. Por lo que parece que sería posible que esto pudiera ser un método de screening aplicable en niños, aunque hay que mejorar el protocolo y realizar más medidas y en población infantil.

## 6. BIBLIOGRAFÍA

1. Averbuch-Heller L. Supranuclear control of ocular motility. *Ophthalmology Clinics of North America*. 2001;1-4:-187-204.
2. Jablan B, Vucinić V, Eskirović B, Ljutica M. Psychosocial aspects of strabismus. *Serbian Archives of Medicine*. 2014;-142:-492-497.
3. Kilpeläinen M, Putnam NM, Ratnam K, Roorda A. The retinal and perceived locus of fixation in the human visual system. *Journal of Vision*. 2021;-21:-9.
4. Birch EE. Amblyopia and binocular vision. *Progress in Retinal and Eye Research*. 2013;-33-67-84.
5. Dinkin MJ, Rizzo JF. Abnormal eye movements in children. *International Ophthalmology Clinics*. 2008;-48:95.
6. Orssaud C. L'amblyopie [Amblyopia]. *Journal Français d'Ophtalmologie*. 2014;-37:486-496.
7. Martín-Herranz R, Vecilla-Antolínez G. Desarrollo visual. Ambliopía. Nistagmus. En: Martín R, Vecilla G. *Manual de Optometría*; Madrid: Ed Panamericana; 2018 pág 176. ISBN 978-84-9110-248-9.
8. Gottlob I. Nystagmus. *Current Opinion in Ophthalmology*. 1998;-9:32-38.
9. Catalano JD. Strabismus. *Pediatric Annals*. 1990;-19:289,-292-297.
10. Al-Haddad C, Hoyeck S, Torbey J, Houry R, Boustany RN. Eye Tracking Abnormalities in School-Aged Children With Strabismus and With and Without Amblyopia. *Journal of pediatric ophthalmology and strabismus*. 2019;-56:-297–304.
11. McConaghy JR, McGuirk R. Amblyopia: Detection and Treatment. *American Family Physician*. 2019;-100:745-750.
12. Ticho BH. Strabismus. *Pediatric Clinics of North America*. 2003;-5: 173.
13. Reche-Sainz JA, Domingo-Gordo B, Toledano-Fernández N. Estudio de la capa de fibras nerviosas de la retina en el estrabismo infantil. *Archivos de la Sociedad Española de Oftalmología*. 2006;-81:-21-25.
14. Ghasia FF, Shaikh AG. Uncorrected Myopic Refractive Error Increases Microsaccade Amplitude. *Investigative Ophthalmology Visual Science*. 2015;-56:-2531-2535.
15. Wu D, Huang H, Liu N, Miao D. Information processing under high and low distractions using eye tracking. *Cognitive Processing*. 2019;-20:-11-18.
16. Asproudis I, Kozeis N, Katsanos A, Jain S, Tranos PG, Konstas AG. A Review of Minimally Invasive Strabismus Surgery (MISS): Is This the Way Forward? *Advances in Therapy*. 2017;-34:826-833.
17. Ivanchenko D, Rifai K, Hafed ZM, Schaeffel F. A low-cost, high-performance video-based binocular eye tracker for psychophysical research. *Journal of eye movement research*. 2021;-14:10.
18. Shi XF, Xu LM, Li Y, Wang T, Zhao KX, Sabel BA. Fixational saccadic eye movements are altered in anisometric amblyopia. *Restorative Neurology and Neuroscience*. 2012;-30:445-462.
19. Ghasia FF, Shaikh AG. Uncorrected Myopic Refractive Error Increases Microsaccade Amplitude. *Investigative Ophthalmology Visual Science*. 2015;-56:2531-2535.

## ANEXO I. DICTAMEN FAVORABLE DEL COMITÉ ÉTICO DE INVESTIGACIÓN CON MEDICAMENTOS DE LA UNIVERSIDAD DE VALLADOLID



### COMITÉ DE ÉTICA DE LA INVESTIGACIÓN CON MEDICAMENTOS ÁREA DE SALUD VALLADOLID

Valladolid a 16 de septiembre de 2021

En la reunión del CEIm ÁREA DE SALUD VALLADOLID ESTE del 16 de septiembre de 2021, se procedió a la evaluación de los aspectos éticos del siguiente proyecto de investigación.

PI 21-2439 TFG NO HCUV	ANÁLISIS Y APLICACIÓN DE LA TECNOLOGÍA EYE TRACKER EN OP- TOMETRÍA	I.P.: IRENE SANCHEZ PAVON EQUIPO: NOELIA GARCIA TA- LABAN, MARIA ISABEL ALISTE HERRERA UVA
------------------------------	--	--

A continuación, les señalo los acuerdos tomados por el CEIm ÁREA DE SALUD VALLADOLID ESTE en relación a dicho Proyecto de Investigación:

Considerando que el Proyecto contempla los Convenios y Normas establecidos en la legislación española en el ámbito de la investigación biomédica, la protección de datos de carácter personal y la bioética, se hace constar el **informe favorable** y la **aceptación** del Comité de Ética de la Investigación con Medicamentos Área de Salud Valladolid Este.

Un cordial saludo.

F. Javier Álvarez

Dr. F. Javier Álvarez.  
CEIm Área de Salud Valladolid Este  
Hospital Clínico Universitario de Valladolid  
Farmacología, Facultad de Medicina,  
Universidad de Valladolid,  
c/ Ramón y Cajal 7, 47005 Valladolid  
alvarez@med.uva.es,  
[jalvarezgo@saludcastillayleon.es](mailto:jalvarezgo@saludcastillayleon.es)  
tel.: 983 423077

