



UNIVERSIDAD DE ALMERÍA
Facultad de Psicología

UNIVERSIDAD DE ALMERÍA



FACULTAD DE PSICOLOGÍA



Trabajo Fin de Grado en Psicología

Convocatoria Julio 2016

**Investigación en Programa de Neurorehabilitación para Ambliopía
Adulta: fundamentos y tratamiento.**

**Neurorehabilitation Program Research for Adult Amblyopia:
fundamentals and treatment.**

Autor/a: ARANCHA BLEDA CABALLERO

Tutor/a: FRANCISCO A. NIETO ESCÁMEZ

Investigación en Programa de Neurorehabilitación para Ambliopía Adulta: fundamentos y tratamiento.

RESUMEN

La ambliopía, comúnmente conocida como ojo vago, es un trastorno neurológico producido por un desequilibrio en la información procedente de ambos ojos. Como reacción a dicha “incongruencia” sensorial, nuestro cerebro pone en marcha un mecanismo de inhibición o supresión de la vía visual correspondiente al ojo ambliope, utilizando únicamente la información procedente el ojo “sano”. Como consecuencia, las personas ambliopes sufren de diferentes alteraciones en su visión, principalmente una menor agudeza visual, menor sensibilidad al contraste, peor visión periférica y lo que resulta más relevante la ausencia de visión estereoscópica o en 3D, lo cual supone importantes problemas en la vida diaria de dichos pacientes. Tradicionalmente se ha considerado que esta patología no tiene tratamiento posible tras el periodo crítico de maduración del sistema visual. Por ello miembros del grupo de investigación CTS-280 llevan tiempo utilizando técnicas de modulación sensorial y aprendizaje perceptivo en pacientes adultos con el fin de recuperar su función visual. Este trabajo es continuación de otros anteriores y en él combinamos el bloqueo sensorial del ojo ambliope, como estrategia para fomentar la plasticidad cerebral en la vía visual ambliope, y el entrenamiento perceptivo mediante un videojuego. Los sujetos experimentales, cinco pacientes adultos con ambliopía por anisometropía fueron incluidos en la investigación. Realizamos una evaluación oftalmológica y psicofísica inicial, seguida por un mes de tratamiento consistente en el bloqueo del ojo ambliope durante 150min al día, seguido de 30min de entrenamiento con el videojuego (5 días a la semana). Los resultados obtenidos muestran una mejora de las variables estudiadas en los cinco pacientes: estereopsis y sensibilidad al contraste. No obstante, el pequeño tamaño de la muestra, la variabilidad de los pacientes y los resultados obtenidos hacen necesario seguir trabajando para afianzar los protocolos y estrategias de tratamientos.

Palabras clave: ambliopía, combinación binocular, función monocular, plasticidad, agudeza visual, supresión interocular, estereopsis, sensibilidad al contraste, dicóptico.

Neurorehabilitation Program Research for Adult Amblyopia: fundamentals and treatment.

ABSTRACT

Amblyopia, commonly known as lazy eye, is a neurological disorder caused by an imbalance in the information from both eyes. In reaction to such sensory "incongruity", our brain triggers a mechanism of inhibition or suppression of the amblyopic visual pathway, using only the information from the "healthy" eye. As a result, amblyopic patients suffer from different alterations in vision, particularly lower visual acuity, reduced contrast sensitivity, worse peripheral vision and, what is more relevant, the absence of stereoscopic or 3D vision, which represents a major problem in the daily life of these patients. Traditionally it has been considered that this condition has no possible treatment after the critical period of maturation of the visual system. Therefore, members of the research group CTS-280 have been using sensory modulation techniques and perceptual learning procedures in adult patients in order to regain their visual function. This work is a continuation of previous research and combines sensory blockade of the amblyopic eye as a strategy to promote brain plasticity in the visual pathway, and perceptual training through a video game. The experimental subjects, five adult patients with anisometry were included in the investigation. We conducted an initial ophthalmologic and psychophysical evaluation, followed by a month of treatment consisting of patching the amblyopic eye for 150min per day, followed by 30 minutes of training with the videogame (5 days a week). The results show an improvement in the variables studied in five patients: both for stereopsis and contrast sensitivity. However, the small sample size, the variability of patients and results make it necessary to continue working to improve protocols and treatment strategies.

Keywords: amblyopia, binocular combination, monocular function, plasticity, visual acuity, interocular suppression, stereopsis, contrast sensitivity, dichoptic.

ÍNDICE

RESUMEN (ABSTRACT).....	2-3
GLOSARIO.....	5-6
1. INTRODUCCIÓN.....	7
1.1 PLASTICIDAD NEURONAL.....	8
1.2 SUPRESIÓN INTEROCULAR: CONCEPTO, NEUROFISIOLOGÍA Y MEDICIÓN.....	11
1.3 TRATAMIENTOS BASADOS EN TECNOLOGÍA.....	17
1.4 APRENDIZAJE PERCEPTUAL.....	18
1.5 PROGRAMAS DE REHABILITACIÓN NEUROPSICOLÓGICA.....	19
1.6 HIPÓTESIS Y OBJETIVO FINAL.....	20
2. MÉTODO	
2.1 SUJETOS EXPERIMENTALES.....	20
2.2 DISEÑO EXPERIMENTAL: MEDIDAS PRE-, MEDIDAS POST-, TÉCNICA “STAIRCASE: THREE DOWN ONE UP”	21
2.3 MATERIALES Y APARATOS.....	22
2.4 PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL:	
PRIMERA ETAPA. CONTACTO Y SELECCIÓN.....	23
SEGUNDA ETAPA. EVALUACIÓN Y MEDICIÓN BASELINE PRE-PARCHE.....	23
TERCERA ETAPA. ENTRENAMIENTO DICÓPTICO, EVALUACIÓN Y MEDIDAS POST	23
CUARTA ETAPA. EVALUACIÓN Y MEDIDA POST 1 MES.....	24
3. RESULTADOS.....	25
4. DISCUSIÓN.....	32
5. CONCLUSIÓN Y LÍNEAS FUTURAS.....	33
6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	
7. ANEXOS (ILUSTRACIONES, TABLAS Y FIGURAS)	

GLOSARIO

AGUDEZA VISUAL: Imagen retiniana más pequeña cuya forma pueda apreciarse y diferenciarse de otra, que se mide por el objeto más pequeño que pueda verse de lejos, en un ángulo específico. En los exámenes optométricos es una prueba esencial, se toma de cerca (3 metros) y de lejos (6 metros), y del ojo derecho, ojo izquierdo y los dos juntos. (Cebrián y Martín, 1998).

ANISOMETROPÍA: error refractivo (miopía, astigmatismo, hipermetropía) de un ojo con una diferencia de una dioptría o más respecto al otro ojo, si la diferencia es de tres o cuatro dioptrías puede afectar a la condición de visión binocular, el ojo con imágenes más borrosas pueden ser suprimidas por el cerebro, surgiendo así la ambliopía o incluso estrabismo.

ESTEREOPSIS: habilidad que posee el humano para ver en 3D los objetos presentados en su campo visual, a través de dos imágenes simultáneas percibidas por cada ojo, bidimensionales y dispares en perspectiva, el cerebro procesa la información y aporta la profundidad de los objetos.

FUSIÓN DE IMÁGENES: fusión a nivel motor; imagen del ojo derecho y del ojo izquierdo localizada en el área correspondiente de la retina, además de permitir la fusión de imágenes localizadas en puntos diferentes. Fusión sensorial; es la combinación de dos imágenes para producir una única. Teniendo en cuenta todas las características (tamaño, forma, color, nitidez, etc.) la fusión es necesaria por que cada ojo aporta una perspectiva diferente.

LÍNEAS LogMAR: logaritmo del mínimo ángulo de resolución, en las escalas de optotipos se presenta una progresión logarítmica de cinco letras por línea de optotipos, cada optotipo tiene un valor de 0,02 unidades logarítmicas ($0,02 \times 5 = 0,1$), sirve para medir la agudeza visual, la máxima agudeza visual es cero y la mínima la unidad. Se utiliza en investigación, también existe el valor de agudeza visual (VAR), muy utilizado en investigación ya que aporta una gran precisión para valorar los optotipos, la fórmula es $\text{LogMar} = (85 - \text{letras acertadas}) \times 0,02$ (Martín y Vecilla, 2007).

RIVALIDAD BINOCULAR: ciertas regiones de la retina son estimuladas con imágenes diferentes y no se produce la fusión de las dos imágenes, se produce una

rivalidad ante estímulos que percibe cada ojo, pudiendo surgir diplopía, el sistema visual no tolera dicha rivalidad y suprime una de las dos imágenes.

SENSIBILIDAD AL CONTRASTE: contraste físico necesario para lograr visualizar un enrejado sinusoidal en diferentes frecuencias espaciales (3 c/d, 6 c/d, 12 c/d y 18c/d), las frecuencias espaciales se expresan en función del número de ciclos de onda que existe por unidad de ángulo visual, expresado en grados. La representación gráfica de la se denomina Función de Sensibilidad al Contraste (CSF).

VISIÓN BINOCULAR: condición de la visión en la que los dos ojos ven una misma imagen integrada y procesada. Visión normal de los seres humanos.

VISIÓN MONOCULAR: condición de la visión en la que un ojo ve una imagen y el otro ojo ve otra o ninguna, bien por tapar el ojo o por algún problema visual o déficit en el campo visual central o periférico.

1. INTRODUCCIÓN

El estudio de la visión se remonta a las antiguas civilizaciones, Egipto, Mesopotamia, Creta, encontraron lentes convexas de ciertos diámetros para desviar o concentrar la luz de sol, pues al ser humano siempre le ha intrigado los fenómenos luminosos. La creación de las lentes está ligada al descubrimiento del vidrio, y esto a su vez al desarrollo de instrumentos que ayudaron a que evolucionaran disciplinas como la astrología o biología, con los telescopios y microscopios. En Venecia, se conocían diferentes técnicas para tratar el vidrio, y se cree que los primeros modelos de gafa surgieron allí, monturas que rodeaban la lente con madera, hierro o cuero y lo sujetaban con remaches, sin patillas. Las primeras gafas se emplearon para la hipermetropía, al tiempo surgieron las lentes cóncavas para la miopía (Cetto, 1996).

Gran parte de los descubrimientos estaban orientados a mejorar y corregir la visión. La necesidad humana de observar lo que esta muy lejano o lo que es muy pequeño, para un mayor conocimiento de nuestro entorno. Seguimos aportando a la historia cómo poder mejorar nuestro sistema visual.

Desde hace unos años están surgiendo diversos estudios poniendo en entredicho los conocimientos teóricos sobre ambliopía (Huang, Zhou, Lu, y Zhou, 2011), la necesidad de encontrar un tratamiento efectivo, de evitar el parcheado infantil prolongado que puede provocar estigmas escolares, la desconfianza de los padres y el desafío diario de colocar el parche al niño, con resultados de éxito de un 50% (Martín, y Romero, 2007) que no garantizan la recuperación total y dependiendo de las condiciones visuales iniciales, del compromiso con el tratamiento, de otras alteraciones existentes, aparte de la posibilidad de provocar algún daño al ojo sano (Carlton y Kaltenthaler, 2011).

Tradicionalmente, han definido la ambliopía como la pérdida de capacidad visual de uno de los dos ojos (o en los dos) que no cursa con enfermedad orgánica y no mejora utilizando gafas o lentes de contacto, con falta de integración de la información que viene desde el ojo con peor visión. Otra definición; *ambliopía, cuando la visión de uno de los ojos disminuye porque el ojo y el cerebro no están trabajando juntos de forma correcta* (National Eye Institute, USA). Popularmente se conoce como “ojo vago”, la población clínica conoce superficialmente en que consiste, pero ese conocimiento poco tiene que ver con la realidad, así los médicos tradicionales lo han difundido como una

patología irrecuperable a partir de los 10 años (Scheiman, M. et al., 2005) y con un tratamiento “rústico”, limitado.

En el contexto de un proyecto de investigación innovación y desarrollo, propongo redefinir el concepto de ambliopía, acorde con los postulados teóricos de la investigación, y es; cuando existe una descompensación unilateral entre los dos ojos, en términos de agudeza visual, baja estereopsis y pobre sensibilidad al contraste, causado por un proceso neuronal subyacente, denominado supresión interocular (Ilustración 6) que bloquea la información/inputs que proviene del ojo más débil con el fin de afinar la capacidad del otro ojo, esto ocurre en el córtex visual, una reducción drástica de las conexiones funcionales desde la capa de neuronas V1 a V2 en el ojo con ambliopía (Bi, et al. 2011), hace plausible la existencia de estructura binocular con un funcionamiento monocular (Hess, Thompson y Baker, 2014).

Para establecer un diagnóstico clínico, se considera ambliopía cuando hay dos líneas logMAR de diferencia entre ambos ojos (diferencia entre 0,2-0,4 logMAR=20/32-20/50 Snellen). Prevalencia de diagnóstico del 1%-5% de la población infantil (menores de 6 años) y deriva en la población adulta entre los 20 y 70 años como déficit visual más común (García, et al. 2014).

Según American Academy of Ophthalmology, los factores de riesgo para desarrollar ambliopía son: estrabismo, errores refractivos (miopía, astigmatismo, hipermetropía), privación (cataratas, ptosis parpebral, opacidad...), antecedentes familiares de ambliopía o estrabismo y nacer prematuramente o bajo de peso (Boyd, 2013).

1.1. PLASTICIDAD NEURONAL

Las últimas investigaciones y revisiones de la literatura científica han demostrado que la corteza cerebral es modulable mucho después de terminar el periodo crítico del desarrollo, se piensa que las neuronas siguen remodelándose y reorganizándose de las posibles lesiones en edad adulta, considerando que es posible por “mecanismos residuales” que dejan una huella/impronta que no desaparece y con estimulación se reactiva llegando a ofrecer resultados sorprendentes (Lunghi, Burr y Morrone, 2011). La neuroplasticidad sucede cuando ciertas áreas o procesos cerebrales se restauran, sustituyen, compensan u optimizan a través de la estimulación de ciertas zonas o

realización de tareas que pongan en marcha el proceso correspondiente garantizando la adaptación del organismo, viéndose reflejado en el comportamiento (Muñoz y Tirapu, 2014).

Parecen existir diversos estadios de plasticidad cerebral a lo largo de todo el ciclo vital donde la experiencia visual y el desarrollo normal están vinculados, según Hooks y Chen (2007):

▪ Período pre-crítico – embrión – formación inicial de circuitos neuronales no dependientes de la experiencia visual.
▪ Período crítico – nacimiento a 6 meses – la experiencia visual modifica los circuitos neuronales.
▪ Final del período crítico – la experiencia visual deja de modificar eficazmente los circuitos neuronales.
▪ Período sensitivo – 6 meses a 8 años – corteza visual aún posee mecanismos de plasticidad.
▪ Período susceptible – 8 a 18 años – decrecen los mecanismos de plasticidad de la corteza visual.
▪ Plasticidad residual – 18 años a final de vida – improntas de plasticidad en la corteza visual.

Un desafío en investigación sobre trastornos del desarrollo nervioso radica en poder controlar el inicio, la duración y el final de los periodos críticos, pues se sabe que existe la red perineuronal, cuya función es proteger las sinapsis de los cambios estructurales que surgen con la maduración, poniendo fin al periodo crítico. Para sorpresa nuestra, un grupo de investigación anglo-italiano inyectó en cerebros de ratas ancianas con ambliopía una enzima, llamada condroitinasa, que descompuso la red perineuronal iniciando un nuevo periodo crítico, las ratas fueron expuestas a estimulación visual y hubo una recuperación de la visión (Hensch, 2016).

Una recopilación de datos evidencia la neuroplasticidad en la ambliopía y explican por qué es posible tratar a adultos con esta alteración, y no dejarlo en el olvido como hasta ahora se ha hecho. Los autores Zhou, Thompson y Hess, (2013) llevaron a cabo un

procedimiento experimental que mostró como con la oclusión temporal (150 minutos) del ojo más débil, aumentó la sensibilidad y aportó algo más de información a la binocularidad, medido a través de pruebas psicofísicas de rivalidad binocular. Una explicación admisible es que se debe a un nuevo establecimiento de conexiones sinápticas, provocado por un mecanismo de control de ganancias, la corteza cerebral puede ser excitada o inhibida, el equilibrio entre ambas polaridades hace que todo funcione correctamente. Cuando este equilibrio se altera, pueden pasar dos cosas: una, se debilitan funciones o dos, sobreactúan funciones. En ambliopía sobreactúa el ojo de fijación (ojo sano) sobre el ambliope, atenuando sus interacciones, al ocluirlo se vuelve a alterar el equilibrio en ganancia del ojo ambliope. Este fenómeno de plasticidad requiere de un entrenamiento continuado para establecer sinapsis a largo plazo que favorezcan el aprendizaje. El ojo ambliope aprende que puede mirar/fijar imágenes a través de repeticiones de inputs que esclarecerán la nubosidad de las señales de ese ojo con el fin de poder combinarlas en el lugar correspondiente.



Ilustración 1. Neuroplasticidad.

Otros autores han probado con técnicas más modernas basadas en la estimulación transcraneal, en concreto Spiegel, Byblow, Hess y Thompson (2013), emplearon la técnica de Estimulación Transcraneal de Corriente Directa: Anódica y Catódica (a-tDCS y c-tDCS, por sus siglas en inglés), basándose en que la supresión activa depende del sistema neuronal GABAérgico, lo que consigue la corriente directa anódica es aumentar la excitabilidad neuronal y la catódica disminuir la excitabilidad neuronal, también se sabe que a-tDCS disminuye los niveles de GABA y aumenta la concentración de glutamato en el córtex motor y dicha reducción de GABA parece favorecer el aprendizaje de tareas motoras, por tanto, en la ambliopía esta reducción de GABA podría reducir los efectos de la supresión de los inputs corticales ayudando al

ojo ambliope a “ver” más inputs de lo habitual. Esta técnica ofrece ciertas ventajas en costo de tiempo, podría acelerar el proceso de aprendizaje y establecimiento de sinapsis a largo plazo, no es invasiva y el material es asequible a cualquier laboratorio (Been, Ngo, Miller y Fitzgerald, 2007). Eso si, sumado a un entrenamiento repetitivo, como hemos mencionado anteriormente, es clave para el proceso de aprendizaje.

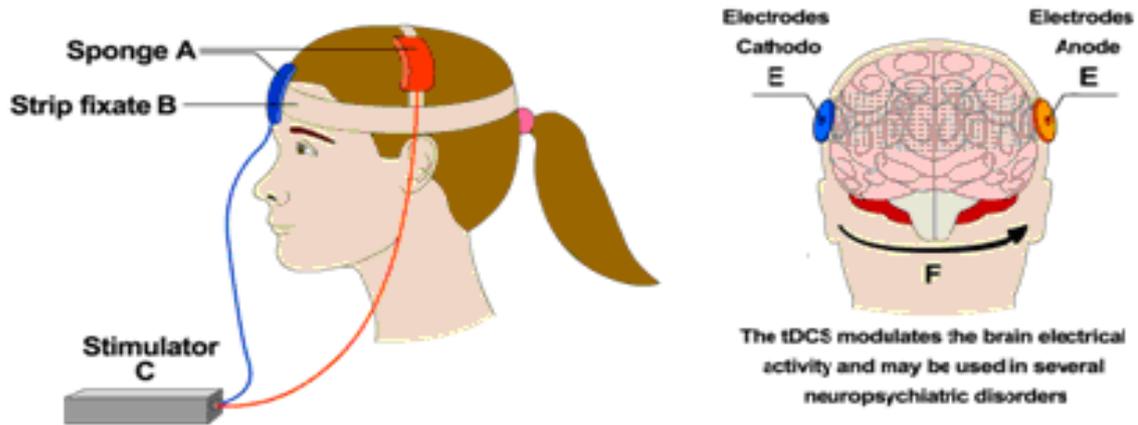


Ilustración 2. Estimulación Magnética Transcraneal de corriente directa.

1.2. SUPRESION INTEROCULAR: concepto, neurofisiología y medición.

CONCEPTO

La respuesta que ofrece la literatura reciente es que el mecanismo de supresión que impide la llegada de información a la corteza visual y áreas de Brodmann (17,18 y 19) (Ilustración 7) que específicamente se encargan de procesar todos los aspectos de la imagen, el color, movimiento, profundidad, etc. el cerebro no hace la suma binocular de las imágenes captadas por cada ojo, por tanto, solo hay una representación monocular sin fusión de dos imágenes, por lo cual se pierde la perspectiva de profundidad que solo es posible con percepción binocular, a parte, hay un déficit de sensibilidad de contraste y de agudeza visual. Estos tres componentes van a ser el eje del proceso experimental de ésta investigación, con la intención de favorecer estos componentes en detrimento de la supresión interocular a largo plazo.

Otras definiciones que ayudan a entender este mecanismo o aportar información, desde un enfoque multidisciplinar.

Desde la oftalmología; supresión es la anulación de una imagen cerebral, en condiciones de visión binocular, se produce un escotoma de supresión en la zona de la retina comprendida entre la fovea y el punto excéntrico de fijación del ojo desviado, la imagen que esta en esa zona es suprimida por el cerebro. (Martínez, 2012).

Desde la neurobiología/fisiología; supresión sacádica, el cerebro suprime la percepción durante el tiempo de las sacudidas oculares. Un estudio con macaco reshus, manifiesta que células del área temporal medial y temporal medial superior de la región ventral intraparietal del lóbulo temporal ajustan su actividad antes del movimiento ocular (Bremmer, Kubischik, Hoffman y Krekelberg, 2009). Aparte, los movimientos sacádicos suprimen la percepción de estímulos luminosos solo cuando se originan directamente en el campo del globo ocular, sin embargo, cuando estimulan áreas visuales primarias con estimulación magnética transcraneal los sujetos percibían los destellos de luz al mover los ojos (Thilo, Santoro, Walsh y Blakemore 2003). A esta regulación temporal se conoce como cronoestasis, percibimos la primera impresión sensorial, tras un movimiento ocular inicial, más larga en el tiempo (Yarrow, Haggard, Brown, y Rothwell, 2001).

NEUROFISIOLOGÍA

El sistema visual está compuesto por la corteza visual primaria, secundaria y asociativa, a su vez esta estratificada en capas, siendo las más importantes V1, V2, V3 y V4, todo este aglomerado está localizado en el lóbulo occipital, dividido entre los dos hemisferios cerebrales (Ilustración 2). Se ha visto en un estudio realizado con monos Rhesus que hay una disfuncionalidad cortical encadenada de V1 a V2. Añadir que, cuando midieron la sensibilidad al contraste, en dichos monos, reveló un amplio rango de pérdidas en las frecuencias espaciales, argumentaron que los déficits en V2 pueden limitar la capacidad espacial fina con una fuerte supresión binocular en V1 (Bi, et al. 2011). El grado de supresión entre las diferentes formas de ambliopía (estrábica, anisométrica o mixta) no tiene diferencias significativas (Li, et al 2011).

Hay identificadas tres clases de células ganglionares en la retina, encargadas de transformar estímulos luminosos en señales nerviosas que viajan hasta las capas de la corteza visual (Ilustración 8):

Células de acción sostenida o X , poseen una alta sensibilidad en discriminación espacial que otorga una agudeza visual fina.
Células de acción transitoria o Y , poseen mayor sensibilidad para contrastes altos y objetos grandes.
Células de supresión por contraste o W , más reciente que las otras, se piensa que operan en un campo receptivo delimitado relacionado con el mantenimiento de la fijación visual.

Las células se comunican a través de dos vías principales, a saber, la vía magnocelular y la vía parvocelular. La primera, procesa la velocidad y dirección del movimiento, vergencias, movimiento de seguimiento, fusión, disparidad gruesa y estereopsis gruesa, y va del fascículo superior al lóbulo parietal, zona dorsal. La segunda, confiere la forma, tamaño, color, estereopsis fina, fusión central y cambio de color rojo-verde y azul-amarillo, comunica con V1, V2, V4, fascículo inferior al lóbulo temporal medial, zona ventral. Se observa que un posible fallo durante la maduración de la vía magnocelular, que se desarrolla antes, afectaría posteriormente a la vía parvocelular desencadenando déficits visuales desde los primeros meses de vida (Moguer y Orozco, 2007), debido a que las columnas de dominancia no sucumben a la rivalidad binocular que es necesaria para la formación competitiva equilibrada de las columnas de dominancia, y así es como aparecería lo que llamamos ambliopía, como efecto secundario a todos los fallos funcionales, insistiendo en una formación estructural intacta.

MEDICIÓN

Un reto cuando se empezó a investigar la ambliopía en psicología es que hacía falta un instrumento científico válido que ayudará a comprender dicho proceso. Thordike (1918), uno de los pioneros de la psicofísica dijo, “si alguna cosa existe, existe en cierta cantidad y puede ser medida”. Gracias a las técnicas y paradigmas psicofísicos podemos obtener datos exactos y precisos.

Según Black, Thompson, Maehara y Hess (2011), desarrollaron un método basado en la psicofísica que les permitió obtener datos de evaluación de supresión, evaluaciones repetidas producía una disminución de la supresión y de la estereopsis, con un efecto de tratamiento, restauración. Entendiendo que no sólo es un instrumento que evalúa y ayuda a comprender el mecanismo en la investigación básica y aplicada sino que también es un tratamiento para la clínica que ayuda a rehabilitar la función binocular.

El primer intento de emplear un instrumento que a su vez proporcione datos cuantificables fue con el Haploscope 8-mirror, que es un instrumento óptico que permite presentar imágenes diferentes para cada ojo, con una gran envergadura y necesidad de equipos computacionales extras (Ilustración 9), esto suponía un inconveniente para las salas clínicas y requiere demasiado tiempo para realizar pruebas exhaustivas (Black, et al. 2011).

Dichos autores dieron con la clave, se trata de un aparato electrónico que puede utilizarse de forma sencilla, sólo requiere de un ordenador de mesa o portátil. El “Headmounted Display (HMD) Z800 3D Dual Pro (Ilustración 10), son unas gafas de realidad virtual de 3D que permite presentar estímulos dicópticos. Adaptaron y optimizaron el procedimiento psicofísico que evalúa objetivamente la magnitud de la supresión. También acertaron a la hora de emplear el método “staircase” (explicado en el apartado de Método) ya que consigue acelerar el procedimiento de la técnica psicofísica y reducir el número de ensayos, según el sujeto y su rendimiento.

En primer lugar, señalar que existen tres paradigmas psicofísicos válidos para medir la supresión, y son: test de fase de percepción y percepción de contraste, test de orientación coherente y test de movimiento coherente. El primero, desarrollado por Ding y Sperling, mostraba resultados anómalos en sujetos con ambliopía, ya que sólo veían o la imagen del ojo de fijación o la del ojo con ambliopía, e incluso el ojo de fijación añadía supresión. Posteriormente, surgieron los otros dos test basados en el procesamiento global y no en percibir y diferenciar contrastes.

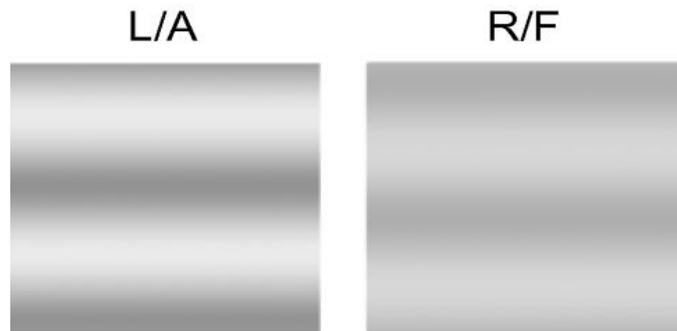


Ilustración 3. Test fase de percepción y contraste

El segundo, test de orientación coherente consiste en una presentación dicóptica formada por una matriz de micro patrones de Gabor, 16 patrones de señal que se presentan al ojo ambliope y 16 patrones de ruido que se presentan al ojo de fijación, el sujeto debe juzgar en condición de elección forzada si giran en sentido derecho o izquierdo, con el objetivo de que los dos ojos combinen la información visual por igual. Este paradigma revela procesos de la corteza visual extra-estriada ventral (Mansouri et al. 2008).

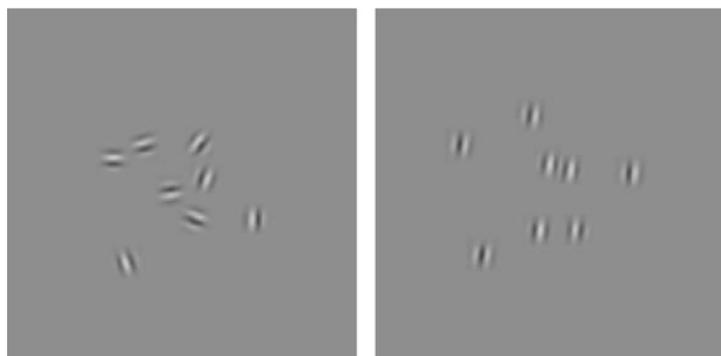


Ilustración 4. Test de orientación coherente

El tercero, test de movimiento coherente, es similar al de orientación, en lugar de matrices de patrones se emplean cinematogramas de puntos aleatorios, en total 100 puntos, se mueven en dirección derecha o izquierda, los puntos ruido se presentan al ojo de fijación y los puntos señal al ojo con ambliopía, al igual que también varía la luminancia de contraste de los puntos, con el mismo objetivo que el de orientación

coherente. Este paradigma revela procesos de la corteza visual extra-estriada dorsal. (Mansouri et al. 2008).

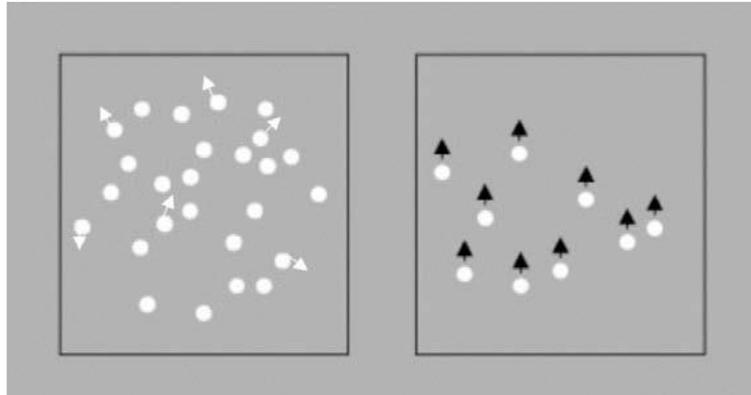


Ilustración 5. Test de movimiento coherente

En nuestra investigación emplearemos este último paradigma, Movimiento de Coherencia Global con una versión adaptada (expuesto en el apartado de Método).

En segundo lugar, lo que se persigue con estos paradigmas es fijar un punto de equilibrio (balance point) entre los dos ojos, que permita combinar la información visual, para ello, establecemos un umbral de movimiento coherente en condición binocular y un umbral de contraste en condición dicóptica. Con el primero, averiguamos la cantidad de puntos señal que necesita el sujeto para determinar la dirección de movimiento, a continuación empleamos dicho umbral para fijar los puntos señal que se presentan al ojo con ambliopía en condición dicóptica, y al ojo de fijación en condición dicóptica se presentan puntos ruido.

1.3. TRATAMIENTOS BASADOS EN LA TECNOLOGÍA

En general, los tratamientos para ambliopía no son eficaces y están muy limitados, ya sea por la edad o por el diseño. Para ofrecer una mayor y rápida comprensión de los diferentes tratamientos disponibles en la ambliopía, buscando tratamientos atípicos basados en la tecnología y que se encuentran en el mercado óptico, excluyendo los de tipo farmacológico, se encuentran recogidos en la siguiente tabla:

Tratamientos	Ventajas	Inconvenientes	Imagen
Parche opaco monocular de ojo sano	Tradicional, parche en ojo sano fortalece al ojo ambliope	No resultados satisfactorios, límites de edad, estigmas sociales, padres no conformes	
Tratamiento comercial Gafas Ambliz™	Oclusión temporal e intermitente del ojo sano debido a tecnología obturación activa, se pueden graduar.	Eficacia y validez científica cuestionable. Fin comercial, se adquieren como un producto más de la óptica	
Trans-lid Binocular Interactor	Estimulación intermitente fotópica 7-8 Hz, ritmo alfa. 15-30 minutos diarios. Estudios indican cambios metabólicos en corteza visual primaria.	No puede usarse en ciertos pacientes, (ejem. fijación excéntrica). Diferentes frecuencias de estimulación es los estudios, difícil generalización resultados. Posibilidad de epilepsia.	
Terapia Visual Videojuegos adaptados a la edad	Potenciar habilidades visuo-perceptivas. Resultados favorables en agudeza visual. Limite de edad en adolescencia.	Entrenamiento en videojuego no es suficiente hay que combinarlo con Terapia Visual, no generalizar.	

En este punto es esencial señalar que en ésta investigación se emplea un tratamiento con tintes clásicos (Bangerter, 1953 introdujo por primera vez el concepto de tratamiento oclusión inversa) e innovador, puesto que empleamos el parche opaco para ocluir el ojo ambliope en contra de ocluir el ojo sano, con un parcheado temporal de 150 minutos diarios durante 20 días, sumado a un entrenamiento dicóptico con gafas de realidad virtual ligado al aprendizaje perceptivo. El factor más característico y diferenciador respecto a los otros tratamientos es que está enfocado para la edad adulta.

Ésta en un proceso experimental por lo tanto hablar de resultados y eficacia sería adelantarse a la discusión de los mismos en el presente trabajo, aunque si hay estudios que avalan mejoras en agudeza visual y sensibilidad al contraste, Yalcin y Balci (2013), llevaron a cabo un estudio con 53 sujetos y 46 sujetos control, los resultados fueron una mejora de 2,6 líneas logMar y en contraste 1,5c/d, 3c/d, 6c/d, 12c/d, 18c/d mejoraron un 75,5%, 68,7%, 52,2%, 42,2%, 27,5%, respectivamente.

1.4. APRENDIZAJE PERCEPTUAL

Sabemos que la experiencia visual tiene un papel clave en el desarrollo sensorial, durante el período crítico el cerebro es más activo en plasticidad, y que la plasticidad esta muy ligada a las experiencias e interacción con el ambiente, esto último al aprendizaje, llegando a establecerse conexiones neuronales a largo plazo. Por tanto, el concepto de aprendizaje perceptual está envuelto en una serie de factores que lo propician. El aprendizaje perceptual en sí se nutre de la experiencia a través de los sistemas sensoriales, de la exposición prologada a ellos y de algún modo, de reconocer los estímulos en su infinidad de categorías y establecer asociaciones que permitan la adaptación al ambiente específico.

La privación de visión por condición de degradación de imágenes, provoca un desarrollo anómalo en las funciones visuales dependiendo del momento en el que aparece la privación (Levi, 2005). La hipótesis con la que trabajan Levi y Cakeet “Detroit Model: last hired, first fired” (1993) sugiere que estructuras y/o funciones con desarrollo temprano se hacen más resistentes a las anomalías mientras que las de desarrollo tardío son más susceptibles.

En la investigación, se han creado paradigmas capacitados para medir cuánto de aprendizaje puede haber ante un determinado estímulo en determinadas condiciones. Evaluando el rendimiento en tareas visuales con y sin ruido externo sobre el estímulo. Un ruido externo bajo esta limitado por el ruido interno del propio observador, y un ruido alto puede dominar sobre el ruido interno del observador, aumentando el rendimiento. Se conocen como Modelo de ruido equivalente o Modelo amplificador lineal (Pelli y Farrell,1990). Lo cual coincide con el estudio realizado por Huang, Tao, Zhou y Lu (2007) los resultados concluyeron que puede ser necesario entrenamiento en frecuencias espaciales medias-altas para recuperar la capacidad de sensibilidad al

contraste, además de la terapia de oclusión. Explicaciones posibles: una menor activación de neuronas conduce a una pobre relación señal-ruido o por conexiones inapropiadas entre las poblaciones neuronales. Provocando un enmascaramiento de conexiones que con aprendizaje perceptivo pueden vuelven a resurgir.

Los principios por los que se rige el aprendizaje perceptual son, la atención, la plasticidad sináptica, facilitación multisensorial, entrenamiento en videojuegos, sistema neuroquímicos implicados en atención y reforzamiento y promover la transferencia del aprendizaje (Deveau, Lovcik y Seitz, 2013).

Las variaciones individuales en la eficacia de posibles tratamientos lleva a la necesidad de cuantificar curvas dosis-respuesta con grandes muestras en ensayos clínicos (Li, Klein y Levi, 2008).

1.5. PROGRAMAS REHABILITACIÓN NEUROPSICOLÓGICA

Aspectos a tener en cuenta en la rehabilitación neuropsicológica es poder generalizar el resultado del tratamiento de las sesiones clínicas a la vida cotidiana del paciente, por ello, propongo tres niveles de generalización basados en la guía de intervención de Muñoz y Tirapu (2014):

Nivel 1: mantenimiento de resultados en la tarea de las sesiones clínicas.

Nivel 2: producción de resultados en tareas similares.

Nivel 3: transferir resultados de sesiones clínicas a tareas funcionales cotidianas.

Así como los requisitos para elaborar un buen programa de rehabilitación y atender a su cumplimiento:

- ✓ modelo teórico de referencia
- ✓ orden de prioridades e intervención temprana
- ✓ perspectiva interdisciplinaria
- ✓ duración de tratamiento
- ✓ habilidades conservadas como base de tratamiento
- ✓ priorizar la discapacidad y no los déficits que conlleva
- ✓ tener en consideración las variables emocionales

1.6. HIPÓTESIS Y OBJETIVO FINAL

El objetivo de éste Trabajo Final de Grado de investigación en rehabilitación neuropsicológica es defender que la mejoría/restauración del punto de equilibrio binocular a través de la reducción temporal de la supresión, puede ser aprovechada para entrenar mediante una tarea específica y repetitiva de aprendizaje perceptual, viéndose reflejado en mejorías de agudeza visual, estereopsis y sensibilidad al contraste. Aumentar estas capacidades puede conducir a mejoras en habilidades visuo-motoras finas (mecanismos de prensión, coordinación ojo-mano), y habilidades visuo-perceptivas (profundidad, contornos, localización espacial, discriminación de orientación) (Moguer, et al. 2007).

Esperamos encontrar mejoras en las capacidades visuales del ojo con ambliopía, mediante privación temporal (150 minutos), un entrenamiento dicóptico de 30 minutos y una evaluación de la supresión con el paradigma de Movimiento Coherente Global, todo ello en el marco de un programa de rehabilitación de 20 días de duración.

2. MÉTODO

2.1. SUJETOS EXPERIMENTALES

Se escogió un criterio de inclusión y exclusión para seleccionar a los sujetos.

Criterio de inclusión: agudeza visual interocular = $\geq 0,02$ logMar, edades comprendidas entre 16-65 años, ambliopía anisometropica.

Criterio de exclusión: ambliopía con estrabismo o por causas orgánicas, cursar alteraciones psiquiátricas y/o neurológicas, operaciones quirúrgicas, problemas oftalmológicos severos (ejem. glaucomas, escotomas).

Cinco sujetos con ambliopía anisométrica pasaron un examen oftalmológico y optométrico que determinó si eran aptos. Dos fueron declinados por presentar microestrabismo o estrabismo, otro por cirugía de corrección de estrabismo, otro por estrabismo y glaucoma crónico. Tres por incompatibilidades laborales.

Los sujetos seleccionados son 3 hombres y 2 mujeres, con edades comprendidas entre 23-57 años (edad media 39). Los pacientes presentaban todos errores refractivos corregidos con gafas o lentes de contacto, tanto en las revisiones oftalmológicas y

optométricas como en la vida diaria de los sujetos, excepto con las gafas de realidad virtual. Todos los sujetos conocían las condiciones de la investigación antes de comenzar y firmaron el consentimiento informado. La investigación cumple con la Declaración de Helsinki y aprobado por el Comité Ético de la Universidad de Almería. Detalles clínicos y datos de línea base (BL) de todos los sujetos (Anexos Tabla 1 y 2).

2.2. DISEÑO EXPERIMENTAL

Diseños de caso único, donde el sujeto es su propio control. Las variables objeto de estudio son la reducción de supresión, mejora de la agudeza visual, estereopsis y sensibilidad al contraste. En el presente trabajo serán descritas y discutidas las variables independientes de estereopsis y sensibilidad al contraste, manteniendo las demás como variables control. Y variable dependiente el tiempo de parcheado del ojo con ambliopía (150 minutos).

MEDIDAS PRE-

Revisiones oftalmológicas y optométricas de baseline y la media de tres mediciones de supresión interocular con el software AmbliOk (Neurodigital Technologies SL).

MEDIDAS POST-

Se realizan después del tratamiento, (entrenamiento dicóptico en videojuego AmbliOk) medimos la supresión interocular con el software AmbliOk, en total 20 medidas post (una por cada día de entrenamiento), basado en el paradigma de Test de Movimiento Coherente Global, la técnica con la que se trabaja para establecer los ensayos aleatorios y la dificultad, se denomina “STAIRCASE”.

TÉCNICA “STAIRCASE: THREE DOWN ONE UP”

Disponemos de una prueba dividida en dos fases, que sigue un criterio 3 down - 1 up, establece el número de ensayos y cada cambio de tendencia se llaman retrocesos “reversals”, cuando se producen seis la prueba termina, con un 78% de criterio de corrección.

La primera fase tiene el objetivo de determinar la cantidad de puntos ruido (que se desplazan aleatoriamente) y puntos señal (dirección derecha o izquierda) que necesita

cada sujeto para discriminar la dirección del movimiento de los puntos. Los estímulos se presentan en una condición binocular, es decir, tanto el ojo de fijación como el ojo con ambliopía ven la misma imagen congruente. La cantidad de puntos varía en un 50% con el primer retroceso y después un 25% , con contraste de luminancia fijo al 100%.

La segunda fase es algo más compleja, los estímulos se presentan en una condición dicóptica, cada ojo ve una imagen diferente, en el ojo con ambliopía se presenta la cantidad de puntos señal establecida en la primera fase y con un contraste de luminancia del 100%, en el ojo de fijación aparecerán la cantidad de puntos restantes para completar los cien puntos, pero con un contraste de luminancia de 0% que aumenta con tres aciertos en un 10% en primer retroceso, después si falla o acierta irá aumentado en un 5%. Con el objetivo de que los dos ojos viendo imágenes diferentes llegue a combinarlas en una sola, y dará igual que ojo ve el ruido y la señal, la supresión habrá cesado (Mansouri et al. 2008).

2.3. MATERIALES Y APARATOS

Software AmbliOk Visual Rehabilitation (Ilustración 16-19) y Gafas realidad virtual Oculus Rift Development Kit 2 Attached (Ilustración 11) fabricadas por Neurodigital Technologies SL.

Adaptada de la prueba original de Black, Hess, Cooperstock, To y Thompson (2012). Empleada como entrenamiento y prueba de medición, con la ayuda de las gafas Oculus que favorece la vision dicóptica.

Cuestionario VAS (Anexo 1).

Evalúa subjetivamente el estado físico y mental, antes y durante los entrenamientos.

Parche 3M Opticlude 5,7cm x 8,0cm para adultos (Ilustración 12).

Empleado para la oclusión del ojo patológico, parche opaco transpirable y con adhesivo hipoalergénico.

Aparatos oftalmológicos y optométricos (Anexo 2).

2.4. PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

PRIMERA ETAPA. CONTACTO Y SELECCIÓN

La primera etapa sirve para establecer contacto con los sujetos seleccionados a través de correo electrónico o teléfono móvil, proporcionan también sus datos personales (nombre, apellidos, edad, número de teléfono y disponibilidad horaria), se coordina una cita en la Clínica QVISION, en Almería, para la revisión oftalmológica y optométrica.

Cuando la clínica remite los datos de las pruebas y se verifica que son aptos procedemos a citar a los sujetos para una medida línea base Pre-Parche.

SEGUNDA ETAPA. MEDIDA BASELINE PRE-PARCHE

Comienza la segunda etapa, lo primero, colocamos las gafas Oculus en el sujeto y medimos la Distancia Interpupilar con el software de configuración AmbliOk (Ilustración 13-15), después fijamos la posición regulatoria de las ruedas derecha e izquierda (posición de 1 a 11) de las gafas Oculus para garantizar la mejor visión del sujeto. A continuación, abrimos el software AmbliOk y procedemos a realizar tres medidas de supresión interocular con intervalos de 3 minutos entre cada medida, evitando la fatiga del sujeto, cada medida proporciona datos de dos fases, con esto se calcula la media de las tres medidas en sus dos fases y obtenemos un dato de referencia inicial, habiéndose dado las instrucciones necesarias para realizar con éxito la prueba de Supresión Interocular (Ilustración 22 y 23). Al terminar se le pide que rellene el Cuestionario VAS (Anexo 1). Por último, se entrega al sujeto un parche para adultos, con las siguientes instrucciones: el sujeto debe parchearse el ojo con ambliopía durante 150 minutos antes de ir a cada sesión de entrenamiento, llegando 5 minutos antes de la hora acordada para retirar el parche y adaptarse a la luminancia.

TERCERA ETAPA. ENTRENAMIENTO DICÓPTICO Y MEDIDAS POST

La tercera etapa comienza con la retirada del parche y dejando a los sujetos 1 minuto de adaptación lumínica, cuando el sujeto este preparado se le colocan las gafas Oculus, prestando atención a las ruedas que regulan la visión de las gafas y fijando la posición registrada con anterioridad para cada sujeto. Entonces, abrimos el software AmbliOk y activamos el formato videojuego, se enseña a los sujetos el funcionamiento del mismo (Ilustración 20 y 21), cuando lo hayan aprendido procedemos al entrenamiento

dicóptico. El videojuego presenta la opción de elegir el ojo con ambliopía, ojo derecho u ojo izquierdo, ya que el juego está orientado para intervenir en la estimulación directa del ojo con ambliopía, además presenta cuatro niveles de dificultad, cada semana de entrenamiento corresponde a un nivel de dificultad. Cada sesión de entrenamiento tiene una duración de 30 minutos, al cabo de las cuatro semanas los sujetos habrán entrenado un total de 10 horas. Pasados los 30 minutos, quitamos las gafas al sujeto un instante, volvemos a colocarlas y pasamos la prueba de evaluación de Supresión Interocular, fijando la opción del ojo con ambliopía, los datos remitidos son registrados en una tabla Excel. Al finalizar los entrenamientos se entregan los parches para el día siguiente.

Tras dos horas de entrenamiento semanal, los sujetos se dirigen a la Clínica QVISION en el Hospital Vithas Virgen del Mar (Almería), donde una profesional oftalmóloga evalúa la agudeza visual, estereopsis y sensibilidad al contraste de cada sujeto, para controlar los posibles cambios. Así, cada semana es una progresión de horas de entrenamiento con revisión, es decir, la primera revisión dos horas, la segunda; cuatro horas y media, la tercera; siete horas y la cuarta; nueve horas y media. Esto nos permite llevar un control exhaustivo de todo el proceso.

CUARTA ETAPA. EVALUACIÓN POST 1 MES

Finalmente, la última etapa del experimento consiste en citar a los sujetos un mes después de terminar el entrenamiento para una re-evaluación de la supresión interocular, agudeza visual, estereopsis y sensibilidad al contraste, con esta información podremos averiguar si los posibles cambios han permanecido estables o han variado positiva o negativamente.

3. RESULTADOS

El comienzo de analizar los resultados viene con calcular los valores normalizados de los datos puros. Para normalizar los datos restamos el valor puro de línea base a cada valor medido de todos los sujetos. Se establece el valor de línea base en 0, con lo que los datos que estén por encima de esto muestran la mejora en la variable correspondiente.

En primer lugar, las gráficas de estereopsis muestran los datos de los cinco sujetos (1-J, 2-S, 3-I, 4-M y 5-G), en el eje X aparece la variable de TIEMPO y en el eje Y aparece la variable MEJORA. Observar gráficas que aparecen más abajo (Figura 1).

Como se puede observar, las gráficas están expuestas del resultado más característico al que menos. En el sujeto 5-G, se aprecia una mejora de hasta 0,04 puntos por encima de la línea base, creando una curva de aprendizaje, se aprecia una subida en 4h y 30min. de entrenamiento (tiempo real dos semanas) manteniéndose estable entre los 0,03-0,04 puntos a lo largo de todo el proceso experimental. En el sujeto 3-I, observamos un progreso más escalonado, aumenta conforme acumula horas de entrenamiento (siete horas en tres semanas) el dato estable es en 0,02 puntos por encima de la línea base, con un pico de subida hasta 0,04 puntos. En el sujeto 4-M, contemplamos una mejora lenta en el tiempo, con un pico de mejora a las 9h y 30min. alcanzando poco más de 0,01 puntos. La diferencia de mejora de este último con respecto a los dos primeros es de 0,03 puntos. En el sujeto 1-J, hay una mejora apenas perceptible, aumenta un 0,005 por encima de su línea base al final del tratamiento. Por último, el sujeto 2-S percibimos dos picos, el primero por encima de la línea base en 0,01 tras 4h y 30min. de entrenamiento, el segundo por debajo de la línea base en -0,0038, última medida registrada, no puede considerarse un empeoramiento, pues no pasa de la unidad 0.

Los datos más significativos sitúan la máxima capacidad de mejora en un 0,04 puntos, siempre por encima de la línea base 0, en un tiempo de entrenamiento de 10 horas totales y un tiempo total de 50 horas de parcheado, y en la muestra seleccionada.

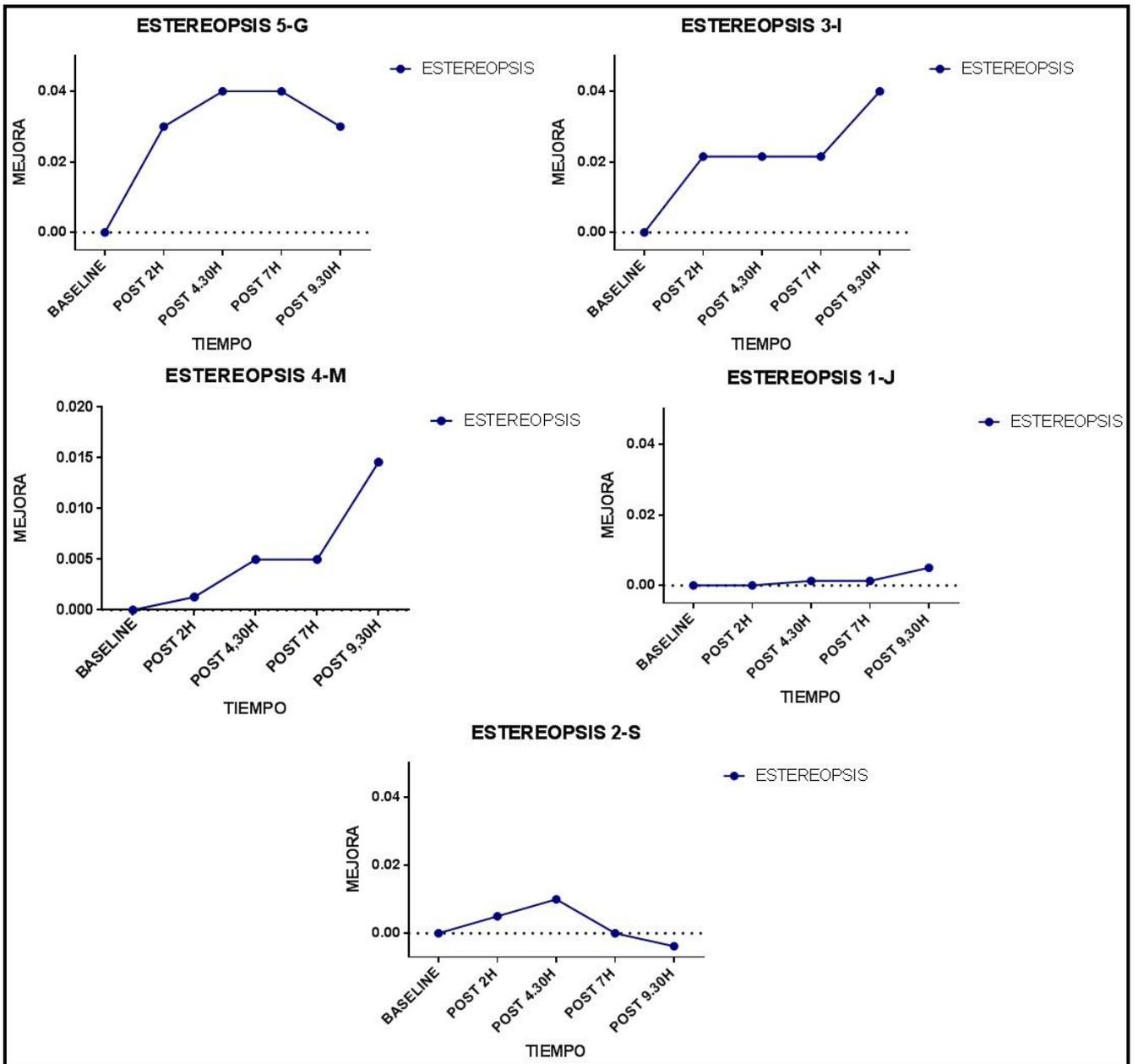


Figura 1. Representación datos estereopsis de todos los sujetos.

En segundo lugar, aparecen representada la variable de sensibilidad al contraste, se mide cada ojo por separado, por tanto, tenemos contraste del ojo ocluido y contraste del ojo no ocluido. Además, las diferentes frecuencias espaciales (unidad de medición cycles/degrees) medidas para la función de sensibilidad al contraste son: 3c/d, 6c/d, 12c/d y 18c/d. Igual para todos los sujetos. El eje X representa el tiempo y el eje Y proporciona la cantidad de mejora. Observar las gráficas que aparecen más abajo (Figura 2-5).

En general, los datos en frecuencia espacial de 3c/d son favorables. En los dos primeros (2-S y 4-M) se aprecia una rápida mejora al inicio del entrenamiento (2 horas = 4 días) y 2-S esta alrededor de 1,0 puntos por encima de la línea base, 4-M alrededor de 0,5. Los dos siguientes (5-G y 3-I) muestran una mejora evolutiva, acorde a la premisa de entrenamiento y rendimiento progresivo, en 5-G el valor se alza 0,6 puntos respecto a la línea base y 3-I llega a un 0,3 situándose estable en 0,15. En 1-J no hay ninguna diferencia respecto a su línea base.

La diferencia entre los sujetos 2-S/4-M y 5-G/3-I es que el rendimiento del ojo no ocluido disminuye, coincidiendo con un aumento repentino del ojo ocluido, mientras que en los segundos el rendimiento aumenta moderadamente, al igual que el ojo ocluido. Del sujeto 1-J mencionar el rendimiento normal del ojo no ocluido.

En los datos respecto a frecuencia espacial 6c/d se aprecian una lenta mejora, exceptuando 2-S que evoluciona en el tiempo, 1-J sin cambios con respecto a su línea base.

Una vez más observamos el decrecimiento en el ojo no ocluido cuando en el ojo ocluido aumenta, se produce como un efecto de compensación. Sobre todo en los sujetos 2-S y 4-M.

En cuanto a las frecuencias más altas, 12c/d, rinden positivamente los sujetos 5-G y 3-I, en el sujeto 4-M se aprecia un efecto negativo temporal, por debajo de la línea base, que aumenta de golpe al final del entrenamiento, en 2-S hay una subida y regreso tangente a la línea base. Específicamente, en 4-M tras 2 horas de entrenamiento el ojo no ocluido disminuye -0,77 puntos, compensando el ojo ocluido con un aumento de 0,34 puntos por encima de la línea base, al bajar el rendimiento de éste último vuelve a aumentar el rendimiento del ojo no ocluido, queda reflejado en ambas graficas. En el ojo no ocluido,

2-S y 3-I mantienen un rendimiento negativo, 5-G no se aprecian estos efectos de compensación, sin embargo, si se aprecia una mejora favorable en ambos ojos.

Referido a la frecuencia espacial 18c/d, primero mencionar el rendimiento neutro del ojo no ocluido de 2-S cuando el ojo ocluido sube por encima del valor de línea base hasta 0,94logs. en siete horas de entrenamiento, 4-M es constante en la mejora de unos 0,5logs. por encima de su línea base, cuyo rendimiento del ojo no ocluido queda un poco por debajo de la línea base. En 5-G ambos ojos son compensados, cuando un valor disminuye el otro aumenta, y en proporciones pequeñas (p.e. ojo ocluido 0,91, ojo no ocluido 0,75). El sujeto 1-J no posee ningún cambio.

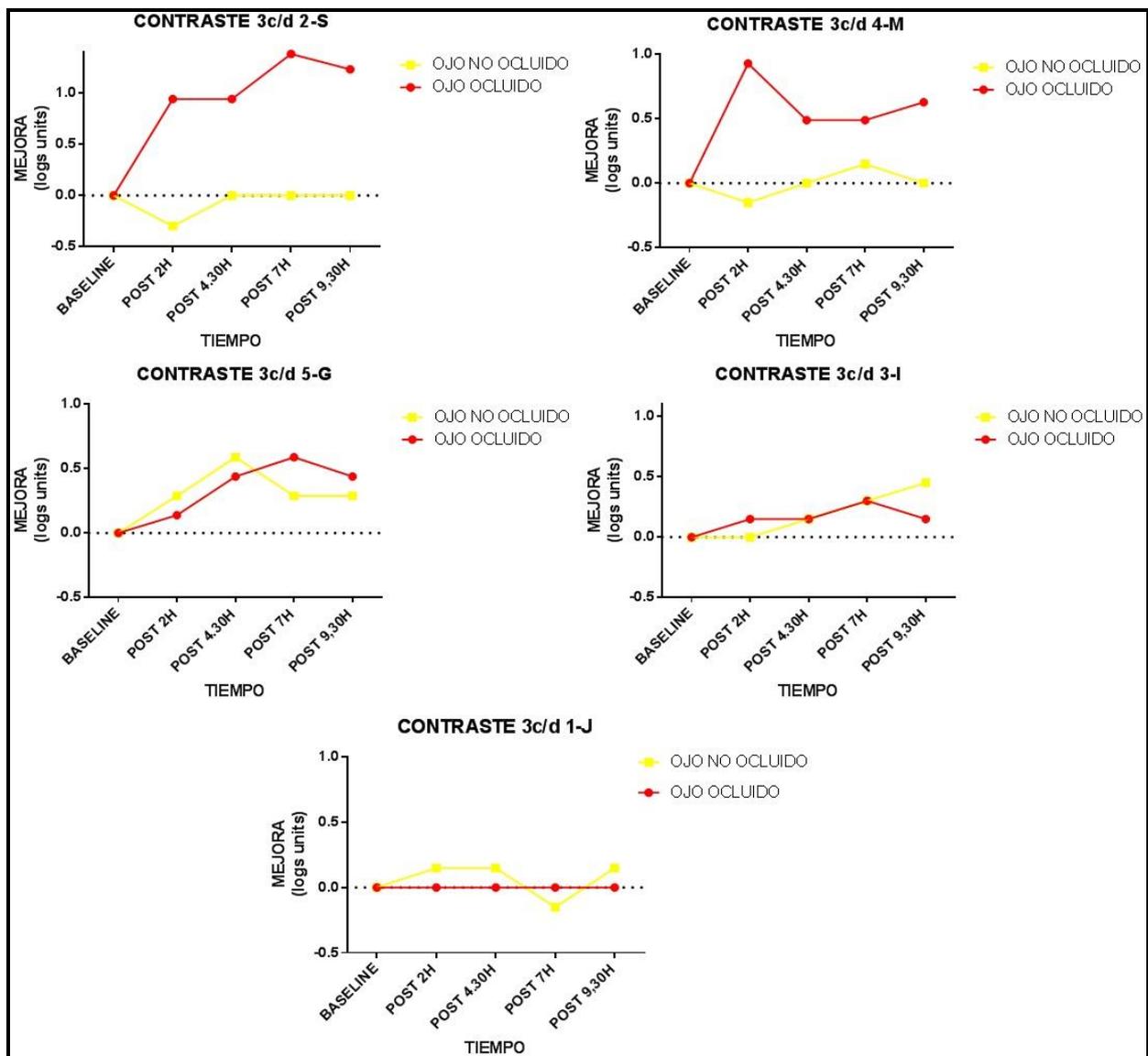


Figura 2. Representación datos de sensibilidad al contraste del ojo ocluido y no ocluido en 3c/d de todos los sujetos.

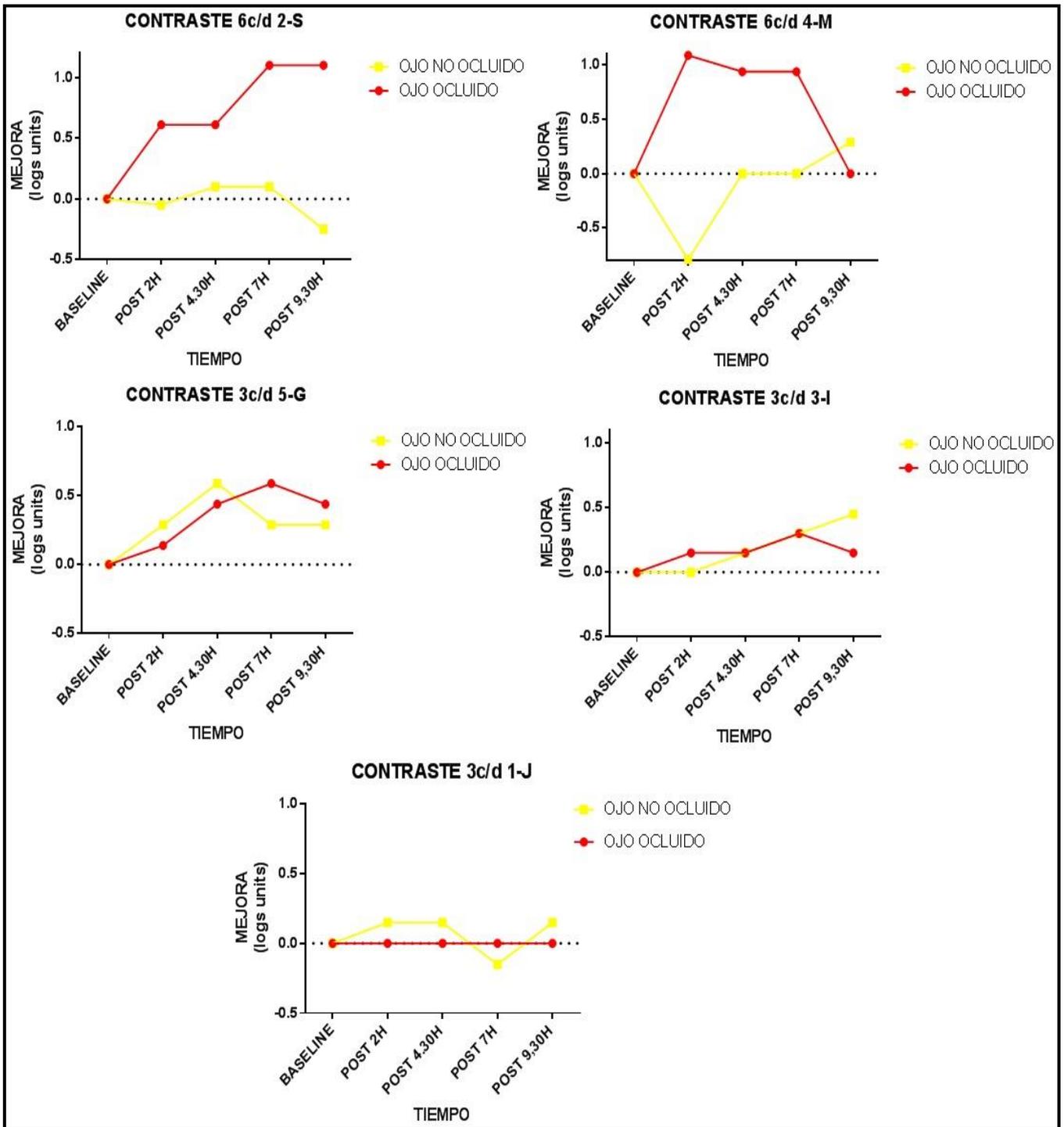


Figura 3. Representación datos de sensibilidad al contraste del ojo ocluido y no ocluido en 6c/d de todos los sujetos.

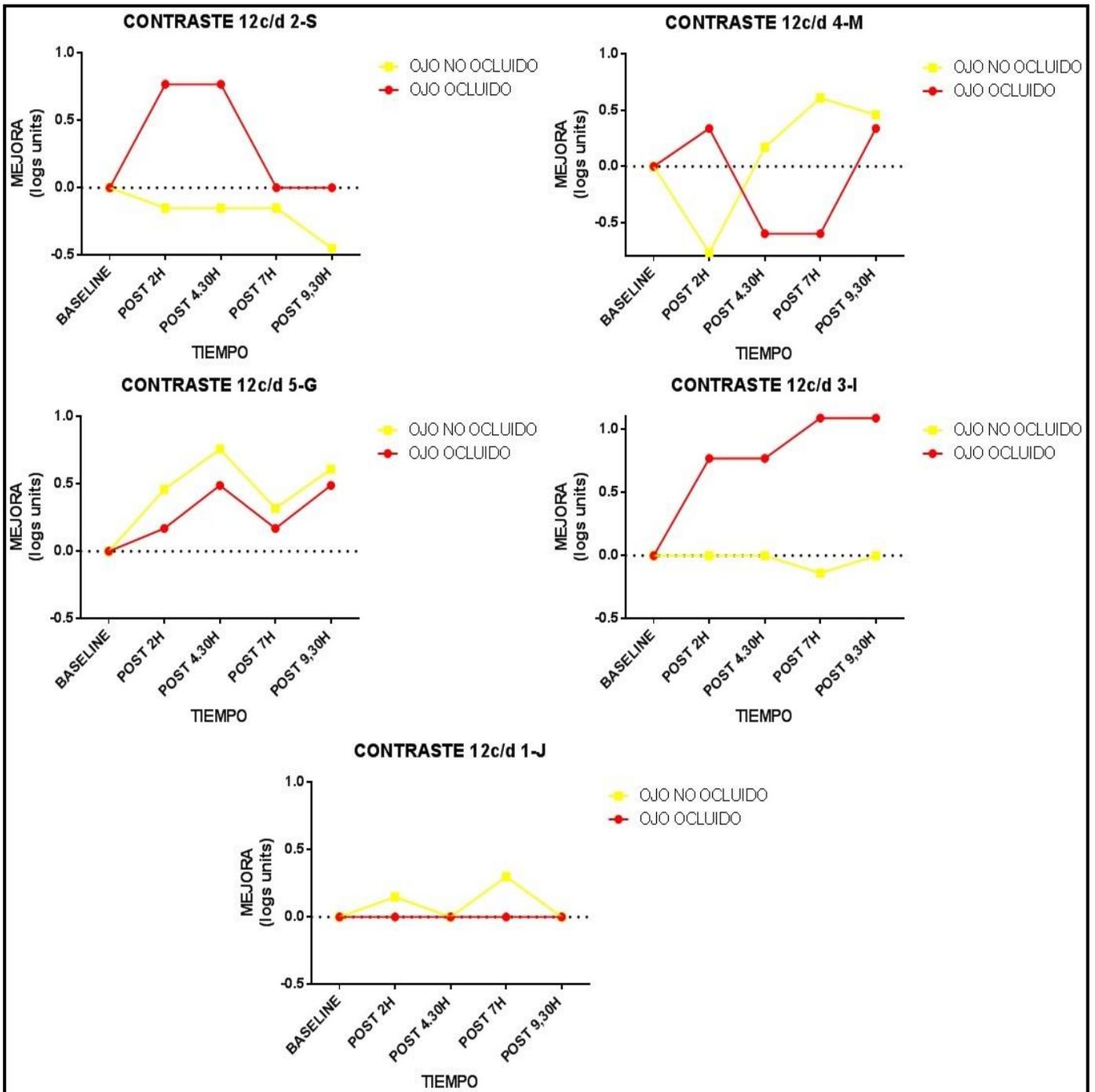


Figura 4. Representación datos de sensibilidad al contraste del ojo ocluido y no ocluido en 12c/d de todos los sujetos.

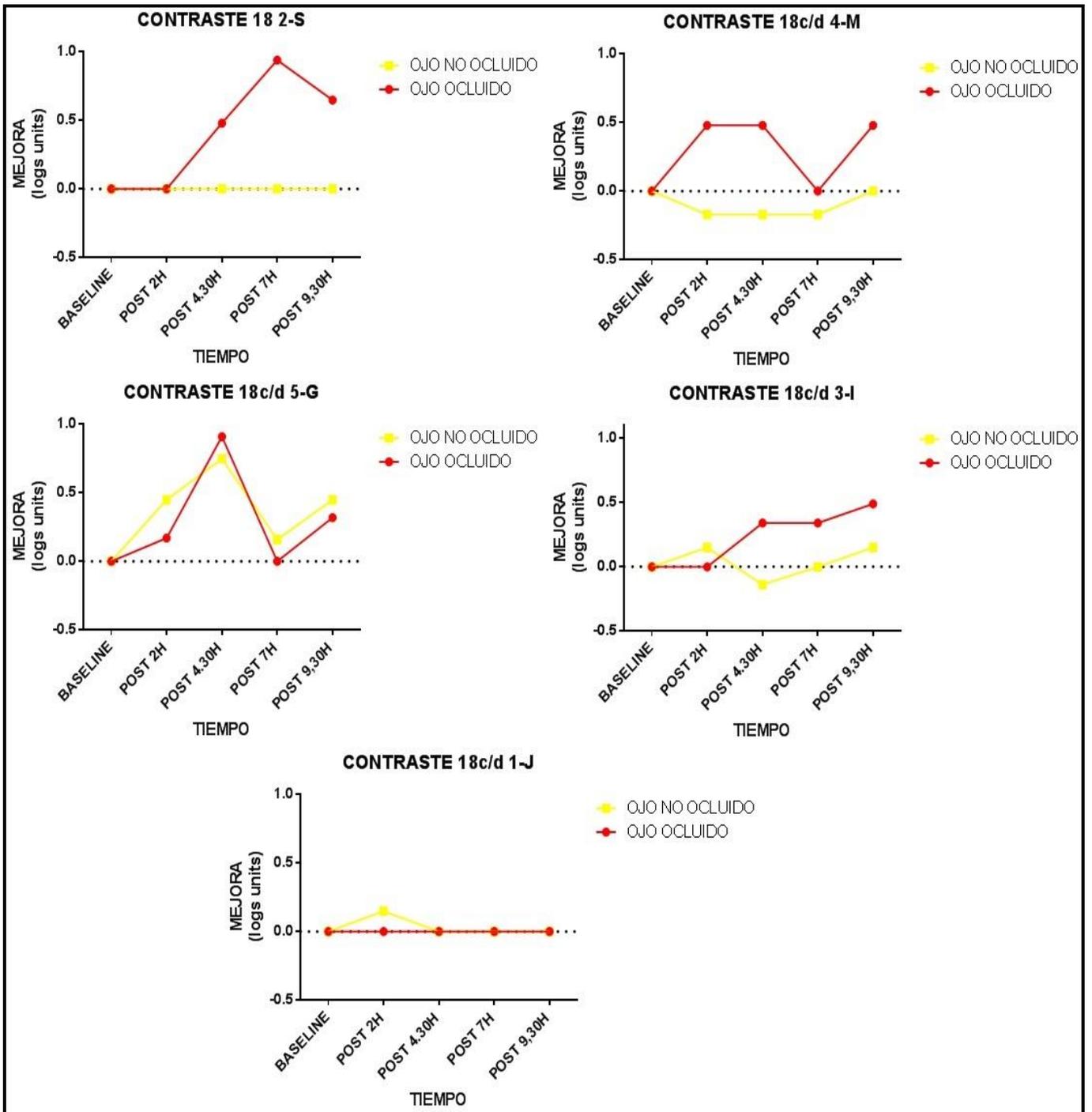


Figura 5. Representación datos de sensibilidad al contraste del ojo ocluido y no ocluido en 18c/d de todos los sujetos.

4. DISCUSIÓN

Comentábamos en la introducción el primer modelo de gafa cómo eran y cómo surgió, hoy en día tenemos diseño de para todos los gustos. La innovación en la tecnología ha logrado un diseño de gafas interactivo, que proporciona experiencias muy cercanas con el observador, son las gafas de realidad virtual. Nos lleva a poder adaptarlas a tratamientos, desde trastornos de ansiedad o fobias en terapias de exposición (García, Rosa y Olivares, 2011) hasta alteraciones motoras como puede ser el Parkinson (Peñasco, Reyes, Gil, Bernal y Peña, 2010) sin dejar de mencionar la ambliopía. Utilizar videojuegos de realidad virtual convierte el tratamiento en algo más llamativo para la población joven, también acerca la tecnología a la edad adulta (Black, Hess, Cooperstock y Thompson, 2012).

Green y Bavelier (2003) pusieron a prueba a jugadores de videojuegos habituales encontrando mayores habilidades visuales, como priorizar las partes del campo visual, el seguimiento de objetos cuando hay varios simultáneos y discriminación de movimiento. En recientes investigaciones se ha mostrado como con entrenamientos en videojuegos ha mejorado visión central y periférica, agudeza visual y sensibilidad al contraste, en grupo experimental la sensibilidad al contraste mostró resultados significativos y la diferencia con el grupo control se dio en los contrastes de alta frecuencia espacial ($F_{4,72} = 2.48$, $P = 0.05$, $\eta^2 = 0.12$) (Li, Polat, Makous, Bavelier, 2009).

El programa de Neurorehabilitación que hemos propuesto ha dado resultados que hay que tomarlos con cautela, pues la muestra es muy pequeña y con muchas diferencias interindividuales, que nos ha limitado para sacar conclusiones significativas. No obstante, en tres de cinco sujetos se aprecian mejoras en Agudeza Visual que podemos llegar a traducirlas y ver si siguen cumpliendo el criterio de inclusión. Concretamente, el sujeto 4-M, ha conseguido reducir la diferencia de líneas logMAR de 7 a 5 entre ambos ojos, en cuanto al sujeto 3-I vino con una diferencia de dos líneas logMAR entre ambos ojos, al finalizar apenas cumplía una línea logMAR de diferencia, mientras que el sujeto 5-G empezó con una diferencia de 7 líneas logMAR finalizando con una línea logMAR, por lo que estos dos últimos quedarían excluidos, si se volviera a realizar el mismo procedimiento.

Concerniente a la capacidad de estereopsis, resaltar que el dato puro del sujeto 4-M en estereopsis es de 800seg./arco, se interpreta como una capacidad de percibir la profundidad casi nula, la cual fue disminuyendo durante el procedimiento experimental, en la primera medida de revisión optométrica bajó hasta los 400seg./arco, el último dato registrado es de 63seg./arco. Puntualizar que un valor normal de estereopsis en las personas es de unos 25seg./arco.

Señalar los picos de “efectos de compensación” que se producen en sensibilidad al contraste, es de crucial importancia saber que las bajas frecuencias (3c/d y 6c/d) son más reconocibles por el ojo con ambliopía, pero altas frecuencias (12c/d y 18c/d) son muy difíciles, por no decir casi irreconocibles. Y el sujeto 5-G consigue equilibrar en todas las frecuencias espaciales y ente ambos ojos, estando siempre por encima de su línea base.

Los datos obtenidos en el sujeto 5-G y 3-I son favorables para la rehabilitación, además coinciden con sus propias experiencias subjetivas, comunicando mejoras del campo periférico, antes no percibían ningún estímulo hasta que no se situaba en el centro del campo visual, haciéndose notable en tareas cotidianas como la lectura, conducir o apreciar contornos de los objetos. El componente atencional ha influido, pues los cinco sujetos relatan no haber prestado atención al ojo patológico desde que los diagnosticaron.

Por último, con el mes de duración del procedimiento experimental y los plazos académicos, han hecho que las evaluaciones post 1 mes no haya dado tiempo a realizarlas dentro del período académico y poder plasmarlas. Aunque se realizarán cuando sea correspondiente cumpliendo el protocolo.

5. CONCLUSIONES Y LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN FUTURAS

Es necesario y conveniente seguir aumentando la muestra en este Programa de Neurorehabilitación, pues los resultados son prometedores. Al igual que mejorar la prueba de Supresión Interocular y conseguir mayor funcionalidad para la visión dicóptica con la ayuda de gafas estereoscópicas.

Además, el planteamiento de reducir el tiempo de parcheado es un factor innovador que da resultados, pero el tiempo de entrenamiento debería de poder adaptarse a las

características y evolución de cada sujeto. Para ello, es necesario ensayos clínicos con amplias muestras que permitan establecer categorías de tratamiento generalizables. También se pueden emplear instrumentos de evaluación neuropsicológica para determinar la existencia de déficits y luego mejoras en habilidades motoras finas y/o visuo-perceptivas, así como aplicar escalas de eficiencia visual, esto ayudaría a transferir los resultados de la clínica a las actividades diarias.

Concluir con la exposición de una línea futura dentro de esta investigación. Mediante la estimulación transcraneal de corriente directa anódica (a-TDCS) podemos acelerar la plasticidad necesaria para reducir la magnitud de supresión interocular, con entrenamientos dicópticos y condición de silenciamiento/bloqueo de la capacidad auditiva. Con ello, se pretende recompensar los posibles mecanismos heteromodales que propiciaron nuevas conexiones neuronales tras la alteración de ambliopía.

6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Been, G., Ngo, T.T., Miller, S.M., y Fitzgerald, P.B. (2007). The use of tDCS and CVS as methods of non-invasive brain stimulation. *Brain research review*, 56 (2), 346-361. [doi:10.1016/j.brainresrev.2007.08.001](https://doi.org/10.1016/j.brainresrev.2007.08.001)
- Bi, H., Zhang, B., Tao, X., Harwerth, R.S., Smith III, E.L., y Chino, Y.M. (2011). Neuronal Responses in Visual Area V2 (V2) of Macaque Monkeys with Strabismic Amblyopia. *Cerebral Cortex*, 21 (9), 2033-2045. [doi:10.1093/cercor/bhq272](https://doi.org/10.1093/cercor/bhq272)
- Boyd, K. (2013). Ambliopía. ¿Quién está en riesgo de desarrollar ojo vago? American Academy of Ophthalmology. Disponible en: <http://www.aao.org/salud-ocular/enfermedades/ambliopia-riesgo>
- Black, J.M., Thompson, B., Maehara, G., y Hess, R.F. (2011). A Compact Clinical Instrument for Quantifying Suppression. *Optometry and Vision Science*, 88 (2), 334-343.
- Black, J.M., Hess, R.F., Cooperstock, J.R., To, L., y Thompson, B. (2012). The Measurement and Treatment of Suppression in Amblyopia. *Journal of Visualized Experiments*, (70), e3927. [doi:10.3791/3927](https://doi.org/10.3791/3927). Disponible en: <http://www.jove.com/video/3927>.
- Bremmer, F., Kubischik, M., Hoffman, K.P., y Krekelberg, Bart. (2009) Neural dynamics of saccadic suppression. *Journal of Neuroscience*, 29 (40), 12.374-12.383. [doi: 10.1523/JNEUROSCI.2908-09.2009](https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.2908-09.2009)
- Carlton, J., y Kaltenthaler, E. (2011). Health-related quality of life measures (HRQoL) in patients with amblyopia and strabismus: a systematic review. *British Journal Ophthalmology*, 201 (1) 95, 325-330. Published online first: 7 Aug. 2010, [doi:10.1136/bjo.2009.178889](https://doi.org/10.1136/bjo.2009.178889)
- Cetto, A.M. (1996). La luz en la naturaleza y en el laboratorio. D.R. © 1995, Fondo de cultura económica. México, D.F. ISBN 968-16-2565-X.
- Deveau, J., Lovcik, G., Seitz, A.R. (2013). The therapeutic benefits of perceptual learning. *Curr Trends Neurol*, 7, 39 - 49.
- García Aguado, J., Esparza Olcina, M. J., Galbe Sánchez-Ventura, J., Martínez Rubio, A., Mengual Gil, J. M., Merino Moína, M., Pallás Alonso, C. R., Sánchez Ruiz-Cabello, F. J., Colomer Revuelta, J., Cortés Rico, O., y Soriano Faura, F. J.. (2014). Cribado de alteraciones visuales (parte 1). *Pediatría Atención Primaria*, 16(64), 173-194. [doi.10.4321/S1139-76322014000500016](https://doi.org/10.4321/S1139-76322014000500016)
- García, E.S., Rosa, A.I. y Olivares, P.J. (2011). Terapia de Exposición Mediante Realidad Virtual e Internet en el Trastorno de Ansiedad/Fobia social: Una Revisión Cualitativa. *Terapia Psicológica*, 29 (2), 233-243. doi.org/10.4067/S0718-48082011000200010
- Green, C.S., Bavelier, D.(2003). Action video game modifies visual selective attention. *Nature*, 423(6939), 534-537.
- Hensch, T.K. (2016). El poder del cerebro infantil. *Investigación y Ciencia*. 475, 44-49.

Hensch, T.K. y Bilimoria, P.M. (2012). Re-opening windows: Manipulating critical periods for brain development. *Cerebrum*. Publicado en línea el 29 de agosto: <http://tinyurl.com/pyg9jjc>

Hess, RF., Thompson, B., y Baker, D.H. (2014). Binocular vision in amblyopia: structure, suppression and plasticity. *Ophthalmic and Pshysiological Optics*, 34, 146-62. [doi:10.1111/opo.12123](https://doi.org/10.1111/opo.12123)

Hooks, B.M., y Chen, C. (2007). Critical periods in the visual system: Changing views for a model of experience-dependent plasticity. *Neuron*, 25;56 (2), 312-326.

Huang, C.B., Zhou, J., Lu, Z.L., y Zhou, Y. (2011). Deficient binocular combination reveals mechanism of anisometropic amblyopia: Signal attenuation and interocular inhibition. *Journal of Vision*, 11 (6) 4, 1-17. [doi:10.1167/11.6.4](https://doi.org/10.1167/11.6.4)

Huang, C.B., Zhou, J., Lu, Z., Feng, L., y Zhou, Y. (2009). Binocular combination in anisometropic amblyopia. *Journal of Vision*, 9(3):17, 1-16. [doi:10.1167/9.3.17](https://doi.org/10.1167/9.3.17)

Huang, C.B., Tao, L., Zhou, Y., Lu, Z.L. (2007). Treated ambliopes remain deficient in spatial vision: a contrast sensitivity and external noise study. *Vision Research*, 47, 22–34. [doi:10.1016/j.visres.2006.09.015](https://doi.org/10.1016/j.visres.2006.09.015)

Kuhtz-Buschbeck, S. H., John, K., Boczek-Funcke, A., y Illera, M. (1998). Prehension movement and motor development in children. *Experimental Brain Research*; 122, 424-432.

Li, J., Thompson, B., Lam, C.S.Y., Deng, D., Chan, L.Y.L., Maehara, G., et al. (2011). The role of suppression in amblyopia. *Investigative Ophthalmology & Visual Science*, 52 (7), 4167-4176. [doi:10.1167/iovs.11-7233](https://doi.org/10.1167/iovs.11-7233)

Li, R., Polar, U., Makous, W. y Bavelier, D. (2009). Enhancing the contrast sensitivity function through Action video game training. *Nat Neuroscience*, 12 (5), 549-551 [doi:10.1038/nn.2296](https://doi.org/10.1038/nn.2296).

Lunghi, C., Burr, D.C., y Morrone, M.C. Brief periods of monocular deprivation disrupt ocular balance in human adult brain. *Current Biology*, 21 (14), 538-539. [doi:10.1016/j.cub.2011.06.004](https://doi.org/10.1016/j.cub.2011.06.004)

Mansouri, B., Thompson, B., y Hess, RF. (2008). Measurement of suprathreshold binocular interactions in amblyopia. *Vision Research*, 48 (28), 2775-2784. [doi:10.1016/j.visres.2008.09.002](https://doi.org/10.1016/j.visres.2008.09.002)

Martín Gil, A., y Romero Luna, M. (2007). La ambliopía: revisión bibliográfica sobre la eficacia del factor tiempo en los diferentes métodos de tratamiento. *Gaceta Óptica*, Órgano Oficial del Colegio Nacional de Ópticos-Optometristas de España, ISSN 0210-5284, 421 10-13.

Martin, R., y Vecilla, G. (2011). Manual de optometría. Madrid, España: Panamericana Eds. Cap.1.

Moguel-Ancheita, S. y Orozco-Gómez, L.P. (2007). Disfuncionalidad neuronal y psicomotora como resultado del retraso en el tratamiento de la ambliopía. *Cir Ciruj*, 75, 481-489.

Muñoz Céspedes, J., y Tirapu Ustárriz, J. (2014). Aspectos históricos y conceptuales. *Rehabilitación neuropsicológica*. Editorial Síntesis; Cap. 1, pp.9-36. Madrid, España.

Pelli, D.G., y Farell, B. (1999). Why use noise?. *Journal of the Optical Society of American A*, 16 (3), 647-653. doi: [10.1364/JOSAA.16.000647](https://doi.org/10.1364/JOSAA.16.000647)

Peñasco, M., De los Reyes, A., Gil, A., Bernal, A., Pérez, B., y De la Peña, A.I. (2010). Aplicación de la realidad virtual en los aspectos motores de la Neurorehabilitación. *Rev Neurol*, 51 (8): 481-488

Scheiman, M. M., Hertle, R.W., Beck, R.W., Edwards, A.R., Birch, E., Cotter, S.A., Crouch, E.R.Jr, Cruz, O.A., Davitt B.V., Donahue, S., Holmes, J.M., Lyon, D.W., Repka, M.X., Sala, N.A., Silbert, D.I., Suh, D.W., y Tamkins, S.M.; Pediatric Eye Disease Investigator Group. (2005). Randomized trial of treatment of amblyopia in children aged 7 to 17 years. *Archives of Ophthalmology*, 123 (4), 437-447. doi:[10.1001/archophth.123.4.437](https://doi.org/10.1001/archophth.123.4.437)

Spiegel, D.P., Li, J., Hess, R.F., Byblow, W.D., Deng, D., Yu, M., et al. (2013) Transcranial direct current stimulation enhances recovery of stereopsis in adults with amblyopia. *Neurotherapeutic*, 10 (4), 831-9. doi:[10.1007/s13311-013-0200-y](https://doi.org/10.1007/s13311-013-0200-y)

Spiegel, D. P., Byblow, W.D., Hess, R.F., y Thompson, B. (2013). Anodal Transcranial Direct Current Stimulation Transiently Improves Contrast Sensitivity and Normalizes Visual Cortex Activation in Individuals with Amblyopia. *Neurorehabilitation and Neuronal Repair*, doi:[10.1177/1545968313491006](https://doi.org/10.1177/1545968313491006). Disponible en: <http://nnr.sagepub.com/content/early/2013/06/17/1545968313491006>.

Thilo, K.V., Santoro, L., Walsh, V. y Blakemore, C. (2003). The site of saccadic suppression. *Nature Neuroscience*, 7 ,13-14. doi:[10.1038/nn1171](https://doi.org/10.1038/nn1171)

Yalcin, E. y Balci, O. (2014). Efficacy of perceptual vision therapy in enhancing visual acuity and contrast sensitivity function in adult hypermetropic anisometropic amblyopia. *Dovepress*, 8, 49-53. doi:[10.2147/OPHT.S48300](https://doi.org/10.2147/OPHT.S48300)

Yarrow, K., Haggard, P., Brown, P., y Rothwell, J.C. (2001). Illusory perceptions of space and time preserve cross-saccadic perceptual continuity. *Nature*, 15,414 (6861), 302-305.

Zhou, J., Clavagnier, S., y Hess, R.F. (2013). Short-term monocular deprivation strengthens the patched eye's contribution to binocular combination. *Journal of Vision*, 13 (12), 1-10. doi:[10.1167/13.5.12](https://doi.org/10.1167/13.5.12)

Zhou, J., Thompson, B., y Hess, R.F. (2013). A new form of rapid binocular plasticity in adult with amblyopia. *Scientific Reports*, 3, 2638, 1-5. doi:[10.1038/srep02638](https://doi.org/10.1038/srep02638)

7. ANEXOS

ILUSTRACIONES

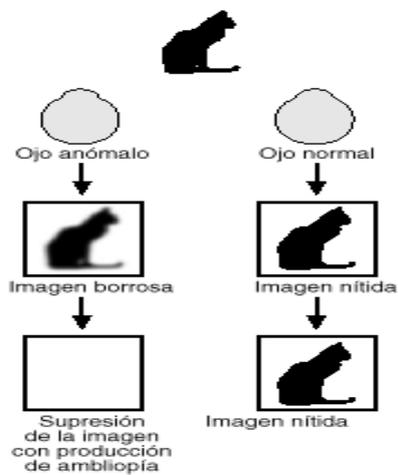


Ilustración 6. Visión de ambos ojos en condición de ambliopía.

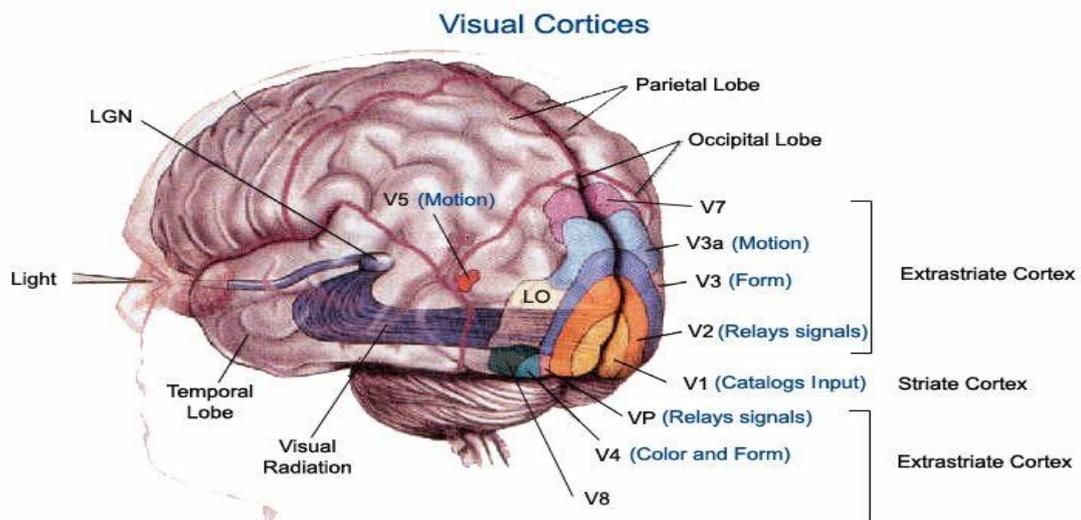


Ilustración 7. Áreas y funciones de la corteza visual.

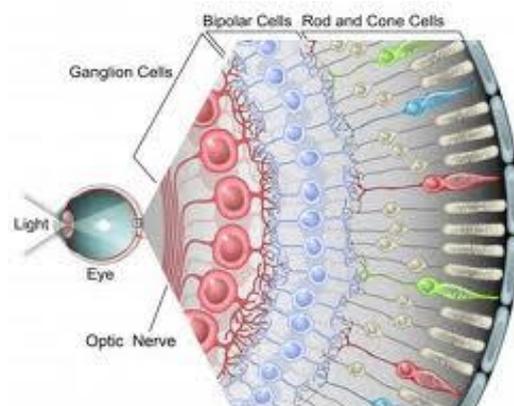


Ilustración 8. Zona células ganglionares en la retina

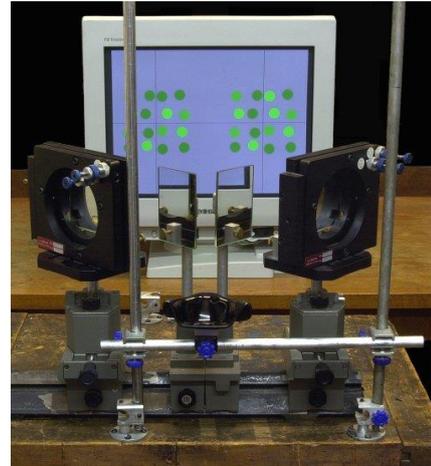
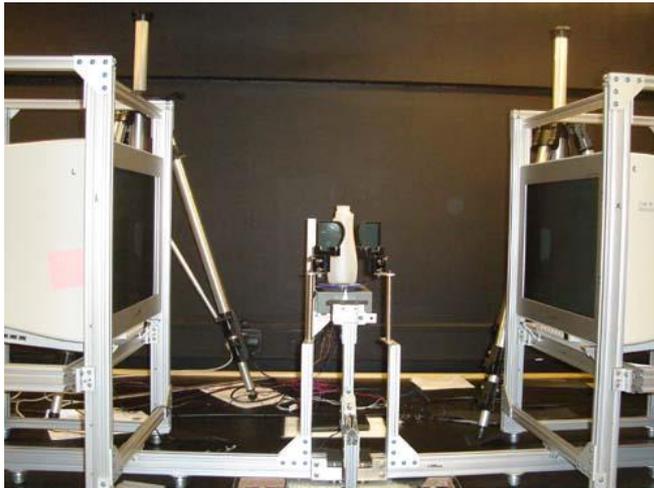


Ilustración 9. Haploscope 8 mirror. (Derecha más antiguo, izquierda más avanzado)



Ilustración 10. HMD Z800 3D dual pro.



Ilustración 11. Gafas Oculus Rift. Visor dicóptico.



Ilustración 12. Parche ocluser adultos.



Ilustración 13. MEDICIÓN DE DISTANCIA INTERPUPILAR (LEFT OUTSIDE & LEFT INSIDE).



Ilustración 14. MEDICIÓN DISTANCIA INTERPUPILAR (RIGHT OUTSIDE & RIGHT INSIDE).

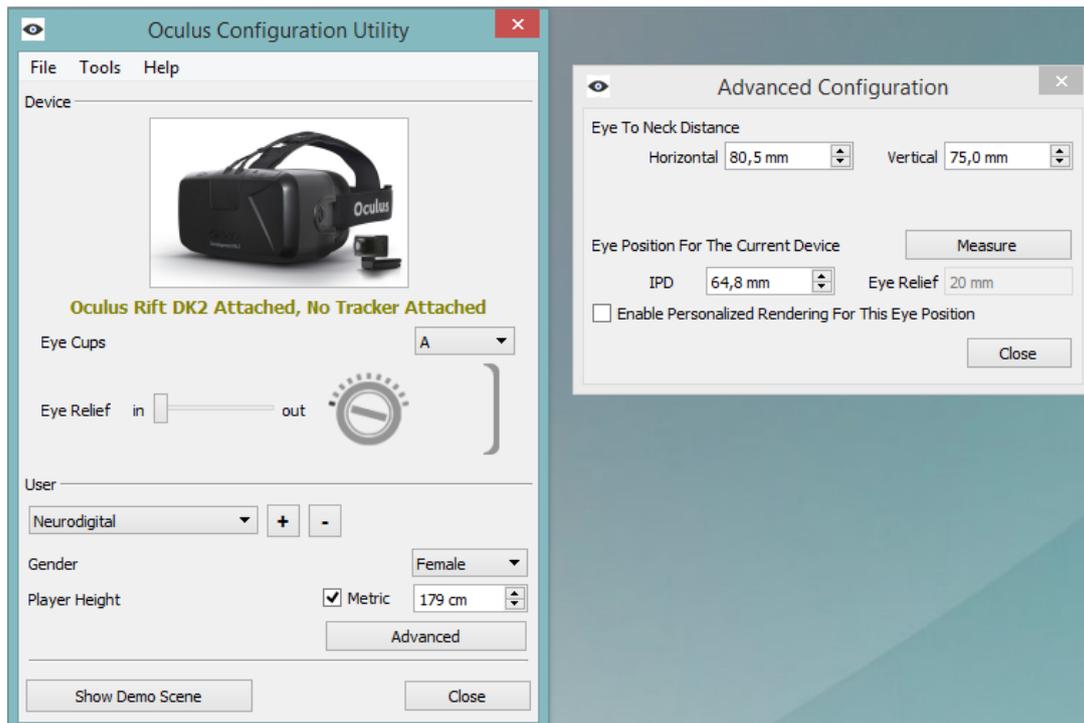


Ilustración 15. Configuración para medir distancia interpupilar.

Nombre del usuario:

1ª fase

Número de puntos coherentes

Número de puntos aleatorios

Repetir la primera fase y calcular la media

2ª fase

¿Cual es el ojo afectado?

Izquierdo Derecho

Número de puntos coherentes

Número de puntos aleatorios

Contraste puntos coherentes

Contraste puntos aleatorios

Repetir la segunda fase y calcular la media

Ilustración 16. Inicio de PRUEBA SUPRESIÓN INTEROCULAR.



Ilustración 17. ELECCIÓN DEL OJO A ENTRENAR

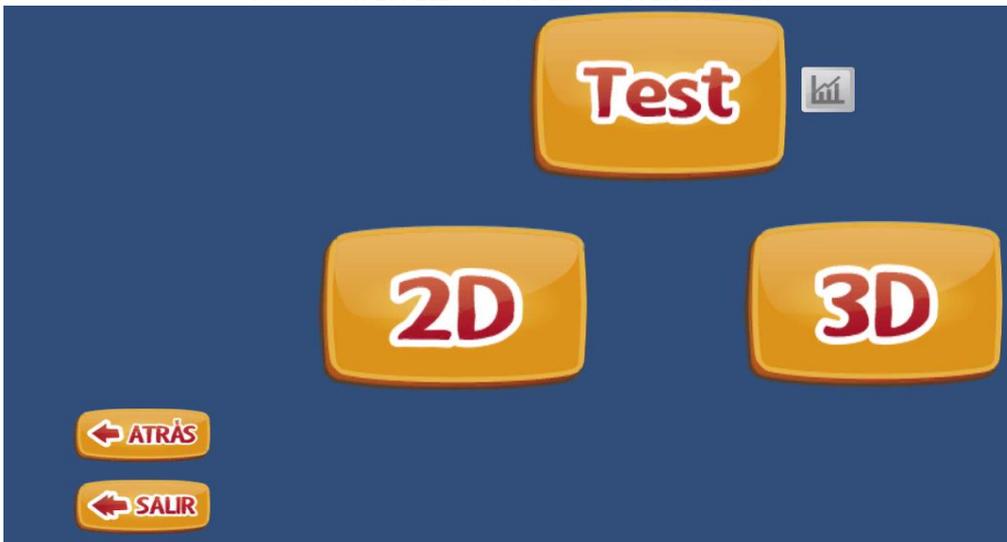


Ilustración 18. MENÚ PARA IR A PRUEBA SUPRESIÓN INTEROCULAR O VIDEOJUEGO.

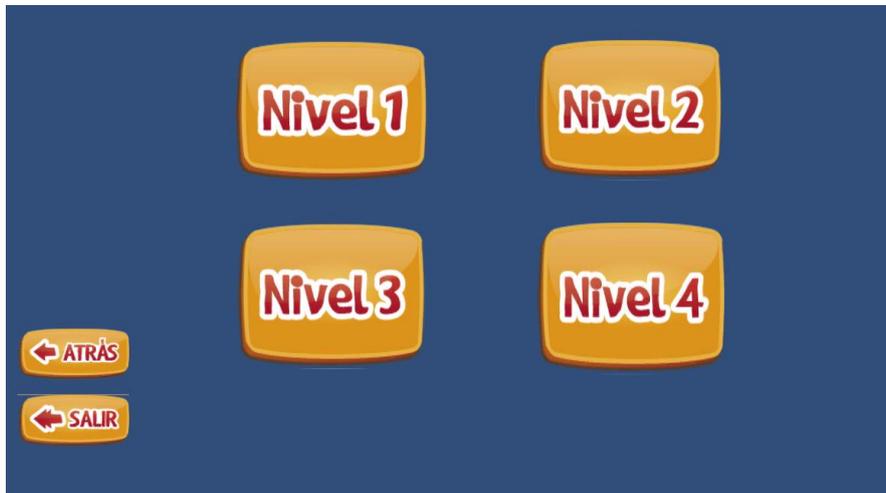


Ilustración 19. NIVELES DE DIFICULTAD ENTRENAMIENTO DICÓPTICO.

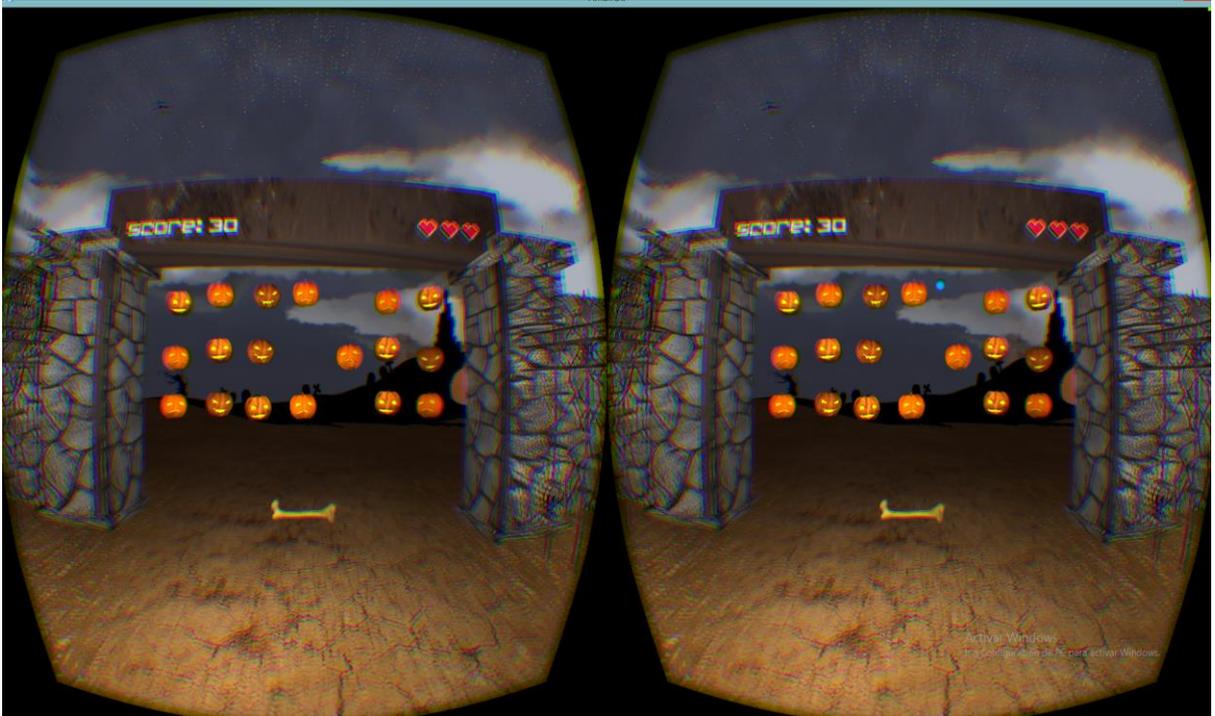


Ilustración 20. ENTRENAMIENTO DICÓPTICO OJO DERECHO

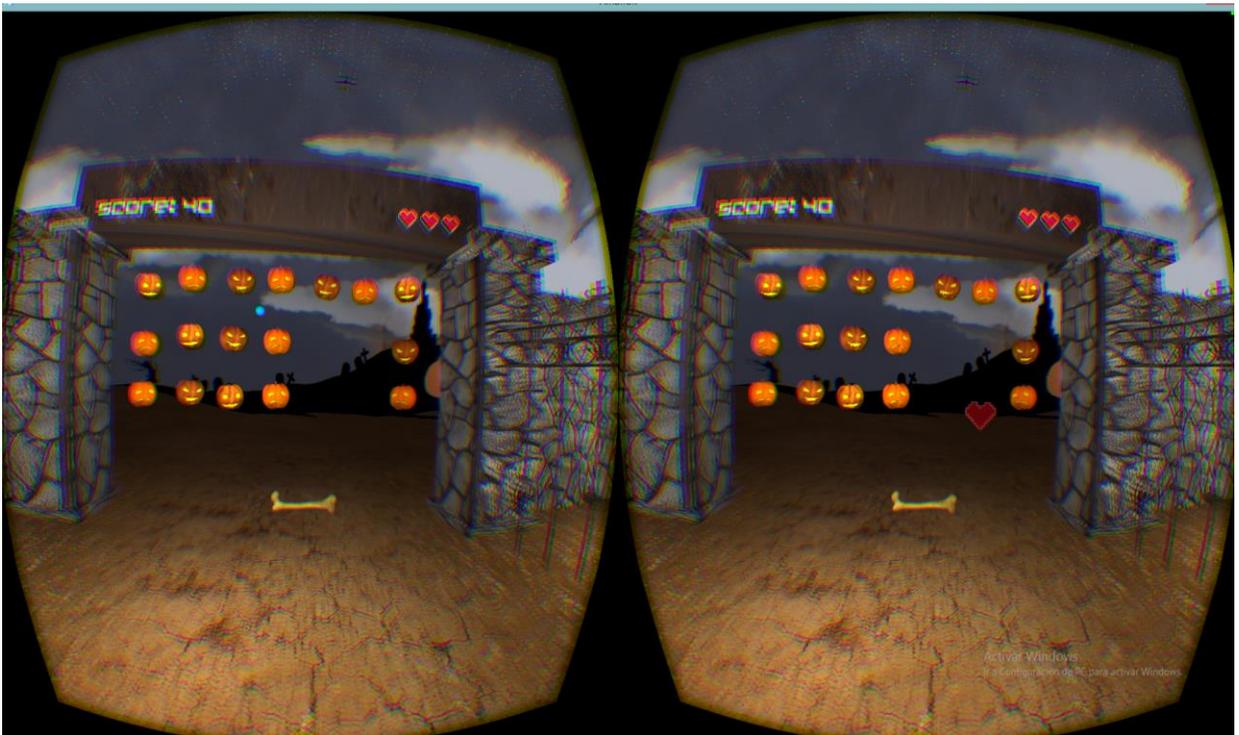


Ilustración 21. ENTRENAMIENTO DICÓPTICO OJO IZQUIERDO.

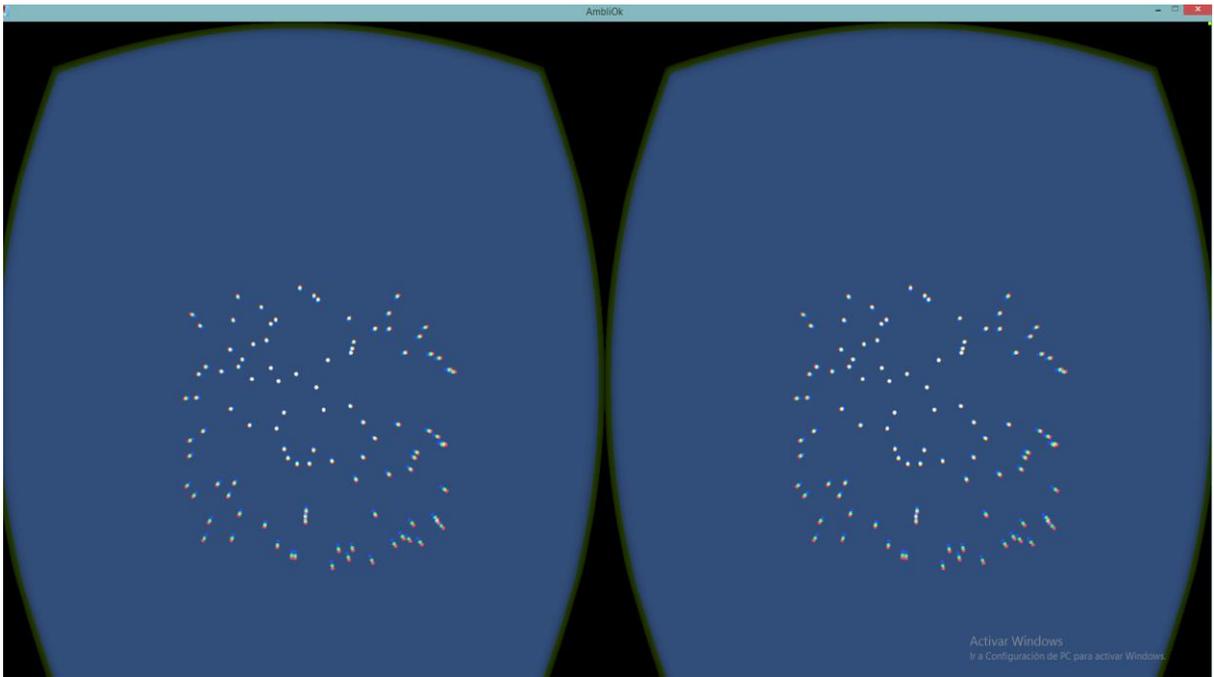


Ilustración 22. FASE 1 TEST MOVIMIENTO COHERENTE GLOBAL

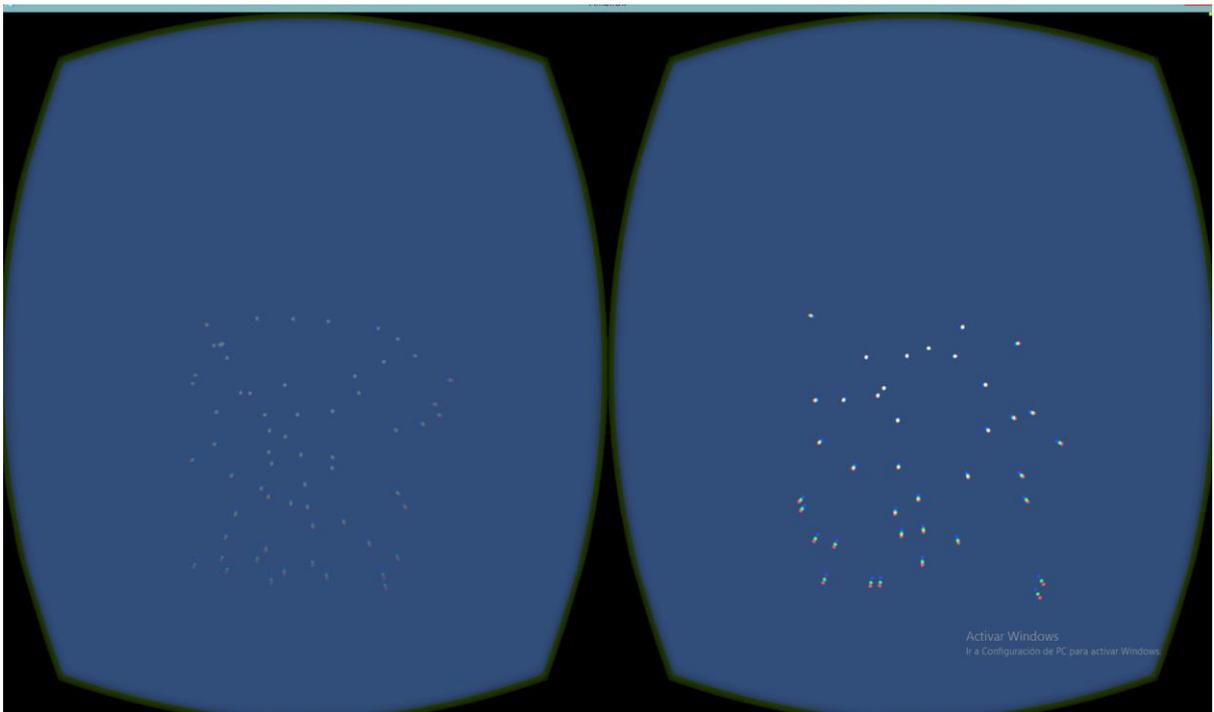


Ilustración 23. FASE 2 TEST MOVIMIENTO COHERENTE GLOBAL

TABLAS

SUJETOS	EDAD DIAGNÓSTICO	EDAD TRATAMIENTO
1-J	4	4 años, parche en ojo sano
2-S	4	No tratamiento
3-I	45	No tratamiento
4-M	14	No tratamiento
5-G	7	No tratamiento

Tabla 1. Datos clínicos de todos los sujetos.

SUJETOS	EDAD	SEXO	OJO OCLUIDO	AVOD/AVOI BL	AVBIN BL	ESTEREOPSIS FLY BL	CONTRASTE OJO OCLUIDO 3,6,12,18 c/d BL	WORTH 4 LUCES BL
1-J	29	M	DERECHO	0,68/-0,28	-0,28	200	0,0,0,0	Suprime ojo derecho
2-S	38	M	DERECHO	0,78/-0,3	-0,3	100	0,0,0,0	Suprime ojo derecho
3-I	57	F	DERECHO	0,16/-0,2	-0,22	100	5,4,0,1	4 luces
4-M	48	F	IZQUIERDO	-0,08/0,66	-0,1	800	1,0,1,0	Suprime ojo izquierdo
5-G	23	M	DERECHO	0,64/-0,12	-0,14	100	4,3,1,2	4 luces

Tabla 2. Datos línea base de todos los sujetos.

ANEXO 1

VAS

NOMBRE:

FECHA:

SESIÓN:

A continuación se le van a exponer una serie de sensaciones corporales. Su tarea consistirá en resaltar o rodear el número que mejor crea que refleja su estado actual, siendo **1 ausencia de sensación y 5 una sensación muy intensa**.

Por favor, conteste con sinceridad y acorde a su sensación real.

Siento cansancio mental	1	2	3	4	5
Siento dolor en el cuello	1	2	3	4	5
Siento mareos	1	2	3	4	5
Siento dolor en la cara	1	2	3	4	5
Siento hormigueo	1	2	3	4	5
Siento la vista cansada	1	2	3	4	5
Siento náuseas	1	2	3	4	5
Siento dolor de cabeza	1	2	3	4	5
Otros síntomas	1	2	3	4	5

Especificar: _____

ANEXO 2

APARATOS OFTALMOLÓGICOS Y OPTOMÉTRICOS



AUTORREFRACTOR

Proporciona la graduación de cada ojo de forma automatizada, muy precisa y habitual en la práctica profesional.



TOMOGRAFÍA DE COHERENCIA ÓPTICA

Prueba de diagnóstico de enfermedades de la retina que afectan a la mácula, imágenes de alta resolución de la retina y nervio óptico.



BIOMICROSCOPIO SLIT-LAMP

Permite al profesional ver el ojo amplificado para explorar la parte anterior y posterior, proyecta una luz directa sobre el ojo. Muy habitual en las revisiones periódicas.



TEST COVER-UNCOVER

Evalúa la desviación ocular de cada ojo, determina presencia o ausencia de capacidad de fusión motora, si hay fusión determina la magnitud de vergencia fusional.



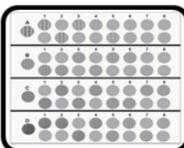
EARLY TREATMENT OF DIABETIC RETINOPATHY STUDY

Prueba que mide la capacidad de agudeza visual de forma fiable y estandarizada. Cada fila posee cinco letras (optotipos de Sloan) y el valor de la fila aumenta progresivamente en 0,10 en escala log unit.



THE FLY TEST

Prueba que mide la estereopsis gruesa y fina (visión tridimensional, percepción de la profundidad) mide desde 4800 a 20 segundos/arco.



CSV 1000E

Prueba que mide la sensibilidad al contraste en diferentes frecuencias espaciales 3, 6, 12 y 18 ciclo/grados. Las fila A, B, C, D corresponde con una frecuencia espacial, respectivamente. El paciente señala que círculo posee la red sinusoidal.



TEST WORTH 4 DOT

Prueba que evalúa la capacidad de fusión de imágenes, de lejos y de cerca, con la ayuda de unas gafas de filtro rojo/verde.

