

UNIVERSIDAD COMPLUTENSE DE MADRID

FACULTAD DE ÓPTICA Y OPTOMETRÍA



TRABAJO DE FIN DE GRADO

2019/2020

**ÚLTIMOS AVANCES EN EL
TRATAMIENTO DE LA AMBLIOPÍA**

Marta Chamorro Herrera

Adela García-Moreno Díaz

Tutora: Catalina Palomo Álvarez



**Consentimiento y compromiso de entrega para evaluación de la memoria
del Trabajo Fin de Grado**

Madrid, a 12 de junio de 2020

D. ADELA GARCÍA-MORENO DÍAZ, con DNI: _____ declara que el documento de la memoria del TFG que presenta para su evaluación, a través del Campus Virtual de la asignatura de TFG, es el mismo que se ha cargado en la aplicación Turnitin para obtención del certificado de similitud y la aprobación del tutor/es.

Fdo: Adela García-Moreno Díaz

Madrid, a 12 de junio de 2020

D. MARTA CHAMORRO HERRERA, con DNI: _____, otorga su consentimiento para que D. ADELA GARCÍA-MORENO DÍAZ, con DNI: _____ presente en su nombre la memoria del Trabajo Fin de Grado titulado ÚLTIMOS AVANCES EN EL TRATAMIENTO DE LA AMBLIOPÍA, tutorizado por el/los tutor/es CATALINA PALOMO ÁLVAREZ.

Fdo: Marta Chamorro Herrera

ÍNDICE

1. RESUMEN.....	1
2. INTRODUCCIÓN.....	2
2.1. Etiología y clasificación	2
2.2. Prevalencia y factores de riesgo	3
2.3. Procesado visual en la ambliopía.....	4
3. OBJETIVO.....	5
4. MATERIAL Y MÉTODOS	5
5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	5
5.1. Terapia refractiva	6
5.2. Oclusión	7
5.3. Fármacos	8
5.3.1. Atropina.....	8
5.3.2. Levodopa y Citicolina	10
5.4. Gafas de cristal líquido (LGC)	11
5.5. Filtro de Bangerter.....	12
5.6. Aprendizaje perceptivo y videojuegos	13
5.6.1. Entrenamiento dicóptico.....	15
5.6.2. Videojuegos monoculares	21
5.6.3. Videojuegos específicos para el desarrollo de la estereopsis	22
6. CONCLUSIONES.....	24
7. BIBLIOGRAFÍA.....	25

1. RESUMEN

La ambliopía es el desarrollo anormal del sistema visual producido por una alteración en el córtex visual que provoca una pérdida de agudeza visual, entre otras funciones visuales y suele aparecer desde el nacimiento hasta los 7-8 años. La presente revisión bibliográfica pretende comparar los tratamientos tradicionales o pasivos respecto a los nuevos tratamientos binoculares o activos.

La recopilación de información se ha realizado utilizando las bases de datos Web of Science, PubMed y Medline. Las palabras claves utilizadas han sido: treatment of amblyopia, occlusion therapy, pharmacology, perceptual learning, dichoptic, video games.

El tratamiento más común de la ambliopía es la oclusión del ojo dominante para provocar el entrenamiento de ojo ambliope, sin embargo, solo se obtienen mejoras de AV en edades tempranas, mientras que con tratamientos de aprendizaje perceptivo mediante videojuegos se consigue potenciar la plasticidad cerebral en edad adulta y así mejorar la visión binocular y las capacidades visuales en todo rango de edad.

Actualmente, se considera que el tratamiento más eficaz para la ambliopía es una combinación del tratamiento convencional junto con nuevas terapias de aprendizaje perceptivo y videojuegos. Estas nuevas terapias, por sí solas, no pueden considerarse las sustitutas de la terapia tradicional porque están en fase de investigación.

2. INTRODUCCIÓN

La ambliopía, también conocida como “ojo vago”, fue definida por Ciuffreda en 1991 como el desarrollo anormal de la visión debido a una alteración fisiológica en el córtex visual.⁽¹⁾ Según la Academia Americana de Oftalmología (AAO) consiste en una disminución unilateral, con menor frecuencia bilateral, de la agudeza visual pese a llevar la mejor compensación óptica posible (BCVA) en ausencia de un defecto anatómico en el ojo o una alteración en la vía visual.⁽²⁾ Es una diferencia interocular de al menos 0.2 logMAR (logaritmo del ángulo mínimo de resolución), suele aparecer desde el nacimiento hasta los primeros 7-8 años de vida. Supone a su vez, una disminución en la agudeza de Vernier, en la velocidad de lectura, pérdida de sensibilidad al contraste sobre todo en frecuencias espaciales altas, alteración motora en coordinación ojo-mano, fijación monocular inestable, respuesta acomodativa alterada y estereopsis reducida.^(3, 4) En un primer momento, se pensó que el tratamiento de la ambliopía solo era efectivo en niños con un rango de edad determinado, luego se demostró que también era eficaz en adultos.⁽⁵⁾

2.1. Etiología y clasificación

- Ambliopía orgánica

La ambliopía orgánica se produce por causas estructurales o patológicas que alteran el sistema visual, como el coloboma, miopía degenerativa, queratocono, cicatrización macular inducida por traumatismo, hipoplasia, retinoblastoma o atrofia del nervio óptico.

Las ambliopías orgánicas suelen ser estables e irreversibles, sin embargo, en algunos casos estructurales, se puede mejorar la visión.

- Ambliopía funcional

En la ambliopía funcional no hay una alteración aparente en la estructura de la retina o en la vía visual, pero si en sus funciones.

Dependiendo de la función afectada se clasifica en:

- **Refractiva:** Provocada por un desenfoque óptico debido a un error refractivo no corregido durante el periodo de inmadurez visual. Dependiendo de la diferencia interocular de refracción, clasificamos la ambliopía en isoametrópica o anisometrópica (Tabla 1).

Tabla 1. Errores refractivos potencialmente ambliogénicos

	ISOAMETROPIA	ANISOMETROPIA
Hipermetropía	≥5.00D	≥1.00D
Miopía	≥8.00D	≥3.00D
Astigmatismo	≥2.50D	≥1.50D

- **Estrábica:** Se asocia frecuentemente con estrabismo unilateral constante. Debido a la falta de fijación bifoveal los ojos reciben imágenes visuales diferentes, provocando confusión y diplopía. Para que desaparezcan estos problemas, el sistema visual inhibe o suprime la imagen desde el ojo afectado.
- **Por privación de estímulo o ex anopsia:** Se origina por un posible obstáculo en la línea de mirada, como una catarata traumática o congénita (causa más frecuente), ptosis completa temprana, leucoma corneal u oclusión mal controlada. Es el tipo de ambliopía funcional más severa y su tratamiento es más complicado.
- **Ambliopía histérica:** Producida por causas psicológicas, como la ansiedad o la depresión emocional.⁽⁶⁾

Según su grado de afectación la ambliopía se clasifica en: leve (20/25 a 20/40), moderada (20/50 a 20/100) y grave (peor que 20/100).⁽⁷⁾

2.2. Prevalencia y factores de riesgo

La prevalencia de la ambliopía varía dependiendo de cada estudio, existiendo controversia en cuanto a los criterios para definirla en función de la AV.

Afecta aproximadamente a 1-5.5% de la población infantil, este porcentaje disminuye en niños de 6 a 71 meses hasta 0.7%- 1.9%. Se considera la causa más común de pérdida visual monocular en niños, jóvenes y adultos de mediana edad, siendo más frecuente la ambliopía unilateral.⁽²⁾

Las ambliopías más comunes son la refractiva y la estrábica. Más del 90% de ambliopes corresponde a ambliopía anisométrica o estrábica, afectando entre un 46% al 79% de los casos a anisométricos y un 19%-50% a estrábitos. Mientras que la isoamétrica resulta menos frecuente, representando solo el 1-2% de toda la ambliopía refractiva. La ambliopía por privación también resulta rara y poco frecuente.⁽²⁾

Además existen diversos factores de riesgo que pueden generar ambliopía como la prematuridad, parálisis cerebral, fumar, tomar drogas o alcohol durante el embarazo, también antecedentes familiares con anisometropía, isoametropía, estrabismo, ambliopía o catarata congénita.⁽⁶⁾

2.3. Procesado visual en la ambliopía

La ambliopía es una de las causas más importantes de discapacidad visual que se presenta como una imagen incorrecta en la fovea del ojo afectado, y ocurre con alta incidencia durante la infancia.⁽⁸⁾

Para observarlo, es necesario recordar como el cerebro es capaz de procesar las imágenes. La luz llega a la retina, donde los fotorreceptores van a traducir la energía lumínica en impulsos eléctricos. Estos impulsos se van a dirigir desde las células ganglionares de la retina al nervio óptico, que a su vez lo lleva al NGL, y de ahí a la corteza visual primaria (V1) (responsable de captar la información visual), esta se puede dividir en varias áreas visuales funcionales (V2, V3 y V4)⁽⁹⁾ donde sus neuronas responden a barras de orientación espacial (detector del movimiento y color).

En general, las primeras anomalías funcionales y estructurales que se dan en un paciente ambliópico ocurren en V1.⁽¹⁰⁾ Se demostró que estos pacientes tenían un grosor cortical significativamente más delgado en la capa IV de V1 bilateral.⁽⁹⁾ Esto produce que las conexiones que se forman entre la retina y la corteza visual primaria se vean afectadas debido al menor número de neuronas, afectando a la disminución de AV, la reducción del campo visual o la sensibilidad al contraste.⁽¹⁰⁾

También se ha expuesto que los campos receptivos localizados en V2 muestran un desorden espacial en ambliopía, pudiendo afectar a la acomodación, visión binocular y motilidad.⁽¹⁰⁾

3. OBJETIVO

El objetivo de la presente revisión es ofrecer una actualización de los tratamientos en los diferentes tipos de ambliopía según la evidencia científica, comparando los tratamientos tradicionales o pasivos respecto a los nuevos tratamientos binoculares o activos en distintas edades.

4. MATERIAL Y MÉTODOS

Para realizar esta revisión bibliográfica, se recopilan datos de fuentes diversas: artículos científicos, libros, revistas de investigación y ciencia y otros trabajos académicos.

La herramienta principal de donde se ha extraído la mayor parte de la información, han sido las bases de datos Web of Science, PubMed o Medline.

Las búsquedas de literatura se limitan al idioma inglés y en los últimos 5 años.

Las palabras claves utilizadas han sido: treatment of amblyopia, occlusion therapy, pharmacology, perceptual learning, dichoptic, video games.

Por último, Endnote (programa de gestión de referencias), se aplica como complemento de ayuda para concluir con la bibliografía.

5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En este apartado se van a comentar los resultados que se obtuvieron en diferentes ensayos clínicos, recogidos en artículos científicos, para el tratamiento de la ambliopía.

Es importante indicar que la ambliopía puede ser tratada mediante métodos pasivos/tradicionales o por métodos activos/binoculares.

Los métodos pasivos o tradicionales son aquellos que no requieren acción del paciente, y están basados en la evidencia obtenida en modelos animales durante la

vida temprana y en estudios aleatorios controlados en humanos con ambliopía. Éstos incluyen la corrección de la refracción, la oclusión, tratamientos farmacológicos como la atropina o levodopa, filtros de Bangerter y gafas de cristal líquido. Pueden combinarse con los activos o incluso ser sustituido por él, si se demostrara una mejora significativa.

Los métodos de tratamiento activo, también llamados binoculares, implican el uso de ambos ojos y requieren colaboración del paciente. Se crearon con el objetivo de mejorar el cumplimiento y aumentar la atención durante el tratamiento, utilizando estímulos diseñados para incentivar la conectividad de las células corticales. Se incluyen tratamientos como el aprendizaje perceptivo y videojuegos. Estos métodos están en plena investigación en ensayos clínicos, por lo que no hay una evidencia clara de su eficacia y se necesitarán más ensayos para poder recomendar este tratamiento a pacientes con ambliopía.⁽¹¹⁾

5.1. Terapia refractiva

La terapia refractiva consiste en corregir el error refractivo del paciente para conseguir la mejor AV posible, bien con gafas o LC, de forma que llegue a la retina de cada ojo una imagen óptica nítida. Antes de ocluir o utilizar fármacos es necesario corregir el error refractivo previamente durante 4 semanas mínimo.

En un estudio de PEDIG (Pediatric Eye Disease Investigator Group), que incluía niños de 3 a 7 años con ambliopía anisométrica no tratada, se descubrió que la corrección refractiva con gafas mejoraba la AV un promedio de 2.9 líneas, mejorando en 2 o más líneas en el 77% de pacientes, en 3 o más líneas en el 60% y se resolvió el problema de ambliopía en un 27% de pacientes. La mayoría de ellos mejoró en 15 semanas de tratamiento, demostrando que la corrección refractiva sola es un buen tratamiento para niños con ambliopía leve y en algunos casos de ambliopía moderada. En el caso de ambliopía grave era más complicado que se solucionara solo con corrección óptica, siendo necesario otros tratamientos.⁽¹²⁾

Otro estudio realizado por MOTAS (Monitored Occlusion Treatment of Amblyopia Study) a 65 niños que presentaban ambliopía anisométrica, estrábica y combinada, cuya edad media era de 5.1 años, sin tratamiento previo y con error refractivo significativo, mejoraron la AV de 0.67 a 0.43 logMAR después de 18 semanas con

adaptación refractiva, no existiendo diferencias importantes en función del tipo de ambliopía presentada.⁽¹³⁾

Además, se debatió si la corrección era más eficaz con gafas o lentes de contacto, teniendo en cuenta las ventajas e inconvenientes de cada una de ellas.

El uso de gafas tenía como ventajas: eran más económicas, mayor seguridad ante lesiones en los ojos, posibilidad para tratar otras anomalías binoculares residuales como un prisma, etc.

Por otro lado, las lentes de contacto tenían ventajas como: disminución de la aniseiconia cuando existe anisometropía, mejora la estética del paciente, más comodidad o mayor campo visual.⁽⁶⁾

En general, se acordó que el uso de gafas fuera la primera opción salvo en casos especiales. El tratamiento era mejor si los pacientes llevaban gafas todo el día, moderado si las usaban más del 50% y peor con menos del 50%.⁽¹⁴⁾

5.2. Oclusión

La terapia de oclusión es el tratamiento más común utilizado para la ambliopía unilateral. Consiste en ocluir con un parche opaco el ojo dominante para estimular la función visual del ojo ambliópico.⁽¹⁵⁾

MOTAS establece tres fases de tratamiento: evaluación inicial, adaptación refractiva y oclusión.⁽¹⁵⁾ La oclusión puede ser directa si se ocluye el ojo dominante o inversa si es al contrario. Dentro de la oclusión directa se puede distinguir entre oclusión a tiempo completo o parcial hasta que se produzca una mejora de la visión en el ojo ambliópico.

Los estudios clínicos en los que se comparó la oclusión directa a tiempo completo (FTO) y a tiempo parcial (PTO), teniendo en cuenta que oclusión a tiempo completo corresponde a más de 10h al día durante 7 días a la semana, mientras que a tiempo parcial corresponde a 6h de oclusión al día durante el mismo periodo. El resultado del análisis realizado a partir de seis estudios concluyó que la diferencia media en los cambios de AV fue 0.337 líneas mayor en el grupo FTO con respecto al grupo PTO, sin embargo, esta diferencia no fue significativa. Finalmente, se llegó a la conclusión de que FTO y PTO eran igual de efectivos en el tratamiento de la ambliopía, sin diferencias importantes de BCVA final entre ambos grupos, siempre y cuando se llevara a cabo un buen cumplimiento del tratamiento. Algunos factores determinantes eran la AV inicial y la edad de inicio del tratamiento.^(5, 16)

Algunos clínicos estaban en contra de FTO, ya que puede causar molestias debido al uso prolongado del parche, lo que puede llevar a un mal cumplimiento del tratamiento.⁽¹⁷⁾ Además, creían que se podía desarrollar ambliopía en el ojo parcheado que era el que mejor veía en principio. También podía interrumpir la fusión binocular y se podía desarrollar estrabismo; e incluso la visión podía ser demasiado pobre y provocar una dificultad a la hora de desarrollar su vida normal.^(7, 16) Por el contrario, otros eran defensores del tratamiento FTO, ya que los pacientes controlados correctamente tenían unos excelentes resultados, asegurando que se obtenían mayores mejoras en BCVA y que periodos de oclusión de 2 a 6 h eran menos efectivos.^(5, 16)

Aunque para la mayoría de los expertos, el tiempo de oclusión mínimo estimado es de 6h, se realizaron ensayos con diferentes tiempos. Por ejemplo, con 4h de oclusión se obtuvo que la duración media del tratamiento fuera de 22.9 meses para alcanzar una BCVA de 1.0. Por tanto, cuanto más grave es la ambliopía, más tiempo tarda la visión en recuperarse.⁽¹⁸⁾

Respecto a la oclusión inversa, mucho menos frecuente que la directa, consiste en parchear el ojo ambliópico con fijación excéntrica en cortos periodos de tiempo, 2h al día, para conseguir una fijación central y después continuar con oclusión directa.

Según la investigación de Lunghi, en la que se midió la rivalidad binocular, se pudo comprobar que, una vez quitado el parche, se producía un gran aporte del ojo parcheado a la visión binocular, sobre todo en adultos y niños mayores.⁽¹⁹⁾

Es importante dejar claro que la oclusión inversa no empeora la ambliopía, además de que en algunos casos mejora la agudeza visual del ojo ambliópico, aunque en menor número de pacientes que la oclusión directa. Esta oclusión inversa se reserva para casos severos de ambliopía por los beneficios que aporta a la visión binocular.⁽²⁰⁾

5.3. Fármacos

5.3.1. Atropina

La atropina es un fármaco cuya función es dilatar la pupila atenuando las respuestas del sistema parasimpático, como consecuencia el músculo esfínter (encargado de contraer la pupila) se relaja y produce la dilatación de la pupila. Este método se aplica para evitar la acomodación del ojo sano, induciendo así visión borrosa y obligando al ojo ambliope a trabajar. Este tratamiento se suele utilizar cuando los niños no toleran

el parche por distintos motivos (no ha funcionado el tratamiento con parche, factores psicosociales, alergias, etc.).⁽²¹⁾

Los estudios realizados por PEDIG comparan este fármaco con el tratamiento de parches en niños de 7 a 12 años, administrando atropina 1% una vez al día durante el fin de semana o 2 horas al día de terapia de parche. A las 17 semanas el ensayo fue completado por el 93% en el grupo de atropina con una mejora de 1.52 líneas aproximadamente, el grupo de parcheo fue finalizado por el 86% con una mejora media de 1.72 líneas. Con ambos tratamientos se obtienen mejoras de AV similares, sin alcanzar la AV del ojo sano, tampoco se destacó diferencias entre los distintos grupos de pacientes estrábicos, ni hubo distinciones de la gravedad de la ambliopía. Aunque el cumplimiento de ambas terapias fue parecido, la calidad de vida con el uso de atropina fue mayor.⁽²²⁾

Seol et al. investigaron a niños a los que no les había funcionado la terapia de parche. Instilaron gotas de atropina al 1% en el ojo no ambliope dos veces por semana, durante 4 meses. Los resultados tuvieron bastante éxito, 20 de 41 pacientes mejoraron dos líneas de AV con la mejor compensación posible. Se piensa que el pretratamiento de parche y la edad temprana de los niños también contribuyeron a los buenos resultados.⁽²³⁾

Sin embargo, de acuerdo a un informe de Japón, aplicar gotas oculares al 1% es demasiada cantidad, demostró que contribuye a una mayor tendencia de efectos secundarios y a un nivel de fotofobia mayor, ya que la pupila se dilata más, como consecuencia se incrementa la tasa de abandono. Recomiendan que suministrar 10 mg/ml gotas de atropina sería la cantidad adecuada para evitar efectos adversos.⁽²⁴⁾

Un estudio de Inglaterra reveló que los principales inconvenientes de la penalización con atropina fueron las dificultades de suministro, la incapacidad de prescribir atropina y sus efectos secundarios más comunes: el rubor y la fiebre. Estos resultados deben tenerse en cuenta cuando se controla la ambliopía y el estrabismo ya que se aplica cicloplejia.^(25, 26)

De estos estudios llegamos a la conclusión que la penalización por atropina puede ser conveniente como alternativa de los parches de oclusión, siendo más efectiva cuanto más pequeños sean los niños.⁽²³⁾ Sin embargo, ofrecer este tratamiento como el principal todavía no se ha conseguido por la reticencia que causa en los padres, debido a preocupaciones relacionadas con la eficacia general, los efectos secundarios y el riesgo de ambliopía inversa.⁽²⁵⁾

5.3.2. Levodopa y Citicolina

La atropina fue el principal método estudiado y con el que mejor resultado se obtuvo, sin embargo, no es el único fármaco investigado.

La levodopa es el precursor metabólico de la dopamina y está aprobada por la administración de drogas y alimentos para su uso en trastornos neurológicos. Su objetivo es mejorar las funciones retinianas activando el sistema nervioso central para inducir niveles de plasticidad en el sistema visual.⁽²⁷⁾

Los investigadores de PEDIG organizaron un ensayo en niños de 7 a 12 años, en el que se prescribió levodopa 3 veces al día con carbidopa^(27, 28) (cuando se combina con carbidopa se reducen los efectos sistémicos secundarios considerándose una dosis segura y efectiva)⁽²⁹⁾ además de continuar con 2 h / día de parcheo. Los efectos adversos eran poco frecuentes, y los niños toleraron bastante bien el tratamiento, sin embargo, no hubo mejoras significativas de AV.⁽²⁷⁾

Paralelamente, otro ensayo confirma esta teoría y compara la levodopa con la terapia de parches, los resultados muestran que administrar levodopa combinada con la oclusión no ofrece ningún beneficio a corto plazo.⁽³⁰⁾

A diferencia de estos estudios, investigaciones recientes muestran que prolongar el tratamiento puede mejorar la AV, especialmente para pacientes jóvenes y cuando el tratamiento de parche no ha resultado exitoso.^(29, 31)

La citicolina confiere al sistema nervioso una función protectora evitando el daño de las células nerviosas. Otras investigaciones demostraron que en combinación con el parche ofrecen resultados prometedores a largo plazo, sin embargo, no está comprobado debido a que los pacientes que realizaron la terapia de oclusión solo 2 horas al día no mejoraron su AV.⁽⁴⁾ Otro de los ensayos para comprobar si la citicolina podía tener efecto si se acrecentaba a la oclusión, se realizó en jóvenes, la AV mejoró significativamente y se mantuvo estable durante 4 meses, también se observaron mejoras en la sensibilidad al contraste.⁽³²⁾

Tanto los fármacos levodopa-carbidopa como citicolina necesitan todavía completar el proceso de investigación, pero ambos fármacos tienen resultados similares; el fármaco solo no obtiene los beneficios deseados, pero si se combina con terapia de parches, el resultado es mucho más exitoso.

5.4. Gafas de cristal líquido (LGC)

Se trata de unas gafas que pueden llevar corrección refractiva a las que se incorpora un obturador electrónico intermitente de cristal líquido, también denominadas AmblyzTM, en las que se alternan fases opacas y transparentes en intervalos de tiempo en el ojo no ambliópico.⁽⁴⁾ El obturador se acciona cuando se aplica un voltaje eléctrico, generando un cambio en la orientación de las moléculas que hacen girar la polaridad de la luz produciéndose el estado opaco. Cuando no se aplica voltaje, el cristal se encuentra transparente. La lente del ojo ambliope tiene un ligero tinte para que no exista tanta diferencia entre ambos.⁽³³⁾

Se usan en casos de ambliopía anisométrica, estrábica o combinación de ambas.⁽³³⁾ Entre las ventajas de este nuevo tratamiento está la reducción de la incomodidad que conlleva el uso de parches, que pueden provocar ansiedad, estrés, molestias por el adhesivo o estigma social.⁽³⁴⁾ Este dispositivo fue aprobado en 2014 por la FDA, por lo que la seguridad en su uso está garantizada.

Spieler et al. utilizaron las gafas de cristal líquido, de forma que el tratamiento consistía en ocluir 5, de las 8 horas que duraba el mismo, con parpadeo a velocidad fija. Esto suponía una oclusión del 66%, es decir, un promedio de 40 segundos de oclusión y 20 segundos abierto. Para facilitar la adaptación al parpadeo, se inició con menos tiempo de oclusión y se fue aumentando. El tiempo de uso se registraba mediante una memoria del controlador electrónico. Los resultados obtenidos mostraron que un 92% de los niños lo cumplieron. Se evaluaron 24 niños entre 4 y 7.8 años. Su agudeza visual tras el tratamiento mejoró 3.5 líneas logMAR en los 9 meses que duró. La estereopsis mejoró en el 21% de los niños, esta mejora tan elevada se produjo posiblemente porque ambos ojos permanecían abiertos durante algunos intervalos de tiempo, favoreciendo la binocularidad. Se concluyó que no se produjo ambliopía inversa en el ojo sano.⁽³³⁾

Wang et al. en otro estudio con niños que presentaban ambliopía moderada unilateral de 3 a 8 años de edad sin tratamiento previo, comparó la efectividad de 4 h de terapia de oclusión intermitente (IO-Therapy) a intervalos de 30 segundos, que suponía una oclusión del 50% del tiempo, con 2 h de oclusión continua con parche tradicional durante el 100% del tiempo. Se llevó a cabo durante 12 semanas y la AV mejoró en el grupo de IO-Therapy a 0.15 ± 0.12 logMAR y en el de parcheo 0.15 ± 0.11 logMAR,

por lo que la diferencia no fue significativa. Se concluyó que era una buena alternativa para el tratamiento de la ambliopía.⁽³⁴⁾

Se considera que el beneficio podría mejorar si se adaptaran los intervalos de parpadeo en función de las necesidades de cada paciente.

5.5. Filtro de Bangerter

Es una lente translúcida, formada por un conjunto de micro-elementos adheridos a la lente cuyo objetivo es provocar un desenfoque difuso de la imagen del ojo no ambliope, reduciendo su AV y su sensibilidad al contraste obligando así al ojo afectado a trabajar. De esta forma, se penaliza la visión del ojo, pero sin ocluirlo por completo, esta penalización va a depender de la densidad mayor o menor del filtro; 0.2, 0.4, 0.6. Una menor agudeza visual indica que necesita un filtro con un desenfoque difuso menor.^(35, 36)

El principal objetivo por el que se diseñan estos filtros es para verificar si pueden ser sustitutos y/o producir mayores beneficios que los parches de oclusión. El grupo PEDIG al comparar ambos tratamientos, obtuvo mejoras a las 24 semanas de 1.9 líneas en el grupo del filtro de Bangerter y 2.3 líneas en el grupo de terapia de oclusión, una diferencia de menos de media línea. Se demostró con esto que los filtros pueden tener su inclusión en el tratamiento de la ambliopía.⁽³⁷⁾ Sin embargo, estos estudios tienen limitaciones, una ambliopía severa no resultaría efectiva debido a que el paciente no toleraría esa reducción de la AV y la mayoría de las investigaciones son realizadas en ambliopías estrábicas.⁽³⁸⁾ También es necesario un seguimiento continuo y metódico de cada caso, ajustando la densidad del filtro sin que se vea afectado el ojo dominante.⁽³⁸⁾

Paralelamente, se investigó si se podría obtener mayores beneficios al combinar el filtro de Bangerter con el fármaco citicolina, el resultado es bastante exitoso. La metodología que siguieron fue administrar por vía oral 1 vez al día durante 5 días a la semana la citicolina, mientras usaba la lente correctora. El tratamiento duró un año.⁽³⁹⁾ Se observó que los pacientes a los que solo se les había aplicado el filtro de Bangerter llegaron a una AV 0.09 logMAR, sin embargo, los sujetos que utilizaron esta combinación llegaron a una AV 0.01 log MAR, prácticamente una visión completa.⁽³⁹⁾ Cuando a una persona no se le ha corregido la ambliopía en su primera etapa y la mantiene en su etapa adulta, este ambliope no fusiona, se le presentan dos imágenes con distinta calidad, produciendo diplopía y como consecuencia, tiende a suprimir el ojo afectado.

Las investigaciones realizadas recientemente estudian la posibilidad de mejorar la fusión combinando el filtro de Bangerter con el aprendizaje perceptivo; variando el contraste relativo, "Relación de contraste del "punto de equilibrio" en la que la información de ambos ojos se pondera por igual".⁽³⁶⁾ O incluirlos en los videojuegos dicópticos, estimulando la binocularidad a través de la observación de imágenes en 3D.⁽⁴⁰⁾ De estos estudios se están consiguiendo buenos resultados pero todavía poco concluyentes por el reducido número de pacientes y ensayos y la poca calidad de las imágenes.

Las principales ventajas que encontramos en los filtros de Bangerter es su avance respecto con los parches tradicionales; son más seguros, el filtro es aplicado en las gafas y no en la piel, evitando irritaciones, la densidad del filtro se puede cambiar adaptándose a las condiciones de cada paciente, el cumplimiento de esta terapia tiene mayor aceptación ya que no queda tan antiestético como los parches.^(37, 39) También se ha demostrado que no es perjudicial para la función binocular, pueden reducir la supresión y mejorar la fusión sensorial y motora.^(36, 38)

La mayor limitación que producen estos filtros es que los niños no miren por el centro de las gafas sino por la periferia y se causen errores refractivos en el tratamiento.⁽³⁷⁾

En conclusión, se está consiguiendo que el filtro de Bangerter pueda ser sustituto del parche de oclusión tradicional, así como que pueda ser aplicado para personas ambliopes en su etapa adulta para eliminar la diplopía o entrenar la fusión.⁽³⁶⁾

5.6. Aprendizaje perceptivo y videojuegos

El aprendizaje perceptivo(AP) fue definido por Gibson en 1963 como "cualquier cambio relativamente permanente y consistente en la percepción de un conjunto de estímulos tras la repetición sistemática de un ejercicio a través del cual se consigue el aprendizaje y el desarrollo del área cortical responsable de la función desarrollada".⁽⁴¹⁾ Además, se produce una mejora de las interacciones laterales anormales en ambliopía adulta excitando poblaciones neuronales deficientes y favoreciendo sus interacciones colineales.⁽⁴²⁾

El AP se asocia a ciertos cambios producidos en la corteza visual primaria (V1), en concreto, en las capas 2 o 3, lo que provoca una transmisión parcial de aprendizaje del ojo ambliópico al dominante. Como la V1 no puede filtrar toda la información entrante son las áreas corticales superiores las encargadas de controlar el proceso atencional.^(43, 44)

Para llevar a cabo el aprendizaje perceptivo, los pacientes con ambliopía fueron entrenados con tareas como la agudeza de Vernier, discriminación de posición en ruido, identificación de letras definidas por contraste o definidas por luminancia y detección de contraste de estímulos sinusoidales. Tras realizar estas tareas, la agudeza visual mejoró en casi todos los casos, también mejoró la sensibilidad al contraste en la frecuencia entrenada transfiriéndose a otras frecuencias espaciales al realizar tareas como la detección de contraste.^(45, 46) En el caso de la estereoagudeza los mejores resultados se producían con una estimulación directa de la estereopsis. Se demostró que una mejora en la agudeza visual no iba acompañada necesariamente de una mejora en estereoagudeza.^(43, 47)

Según ciertos estudios, en el sistema visual de pacientes ambliópicos se produce una disminución de la eficiencia del muestreo y un aumento de ruido interno. Por su parte, Li y Levi en 2004 demostraron que el aprendizaje perceptivo mejoraba la eficiencia y disminuía el ruido interno.⁽⁴⁸⁾

En algunos casos se utilizó ruido posicional para la discriminación de la posición, es decir, alteraciones de las posiciones de partes del estímulo con el fin de simular el ruido posicional en el sistema visual humano y conocer los mecanismos neurales subyacentes.⁽⁴⁹⁾

El aprendizaje perceptivo, a veces, se combinaba con periodos breves de oclusión del ojo dominante. Estos periodos eran intensos y activos e iban acompañados de una gran demanda de atención. Así se reducía el tiempo de recuperación de la AV. ^(43, 50)

Polat et al.⁽⁵¹⁾ en 2004 y Chen et al.⁽⁵²⁾ en 2008 no encontraron relación entre los resultados obtenidos y la edad de los pacientes, por lo que el tratamiento se aplicaba indistintamente a niños que no tenían AV normal o experimentaban retrocesos en tratamientos previos como en adultos por la gran plasticidad de su sistema visual que demostraron tener.

Li et al. concluyeron que el tiempo necesario para obtener el máximo beneficio de AP es mayor cuando más grave es la ambliopía.⁽⁴⁴⁾ Además, se demostró que el aprendizaje perceptivo monocular en el ojo ambliópico puede mejorar las funciones visuales monoculares y binoculares.⁽⁴⁶⁾ Por ello, este modelo podría ser un buen ayudante de la terapia pasiva ya que no está claro que el uso de parche sea útil en adultos.⁽⁴⁴⁾

La utilización de videojuegos nos ayuda a reforzar este tipo de aprendizajes.

5.6.1. Entrenamiento dicóptico

Es un tratamiento binocular que implica el aprendizaje conductual, a través de la repetición constante de un ejercicio, cuyo objetivo es reducir o eliminar la supresión del ojo ambliope mientras se promueve la fusión binocular en aquellos pacientes jóvenes y adultos, argumentando que la ambliopía puede tener tratamiento, aunque se haya pasado la etapa crítica del desarrollo de la corteza visual. O en aquellos niños a los que se le resisten las terapias tradicionales.^(53, 54) El aprendizaje también busca el éxito de la mejora de AV y estereopsis.

El tratamiento consiste en que los estímulos se pueden resolver si la información del OI se complementa con la del OD.⁽⁵⁵⁾ El entrenamiento dicóptico puede ayudar a la integración de la información de los dos ojos para ayudar a recuperar la estereovisión en pacientes ambliópicos.⁽⁵⁶⁾

Chow et al. decía que un déficit de atención puede producir una alteración en el sistema visual, si entrenas la dirección hacia donde se dirige el movimiento y el contraste aumentas la atención pudiendo mejorar la supresión.^(55, 57)

Para cuantificar la gravedad de la supresión se precisa conocer el contraste que necesita el ojo ambliope para equilibrar ambos ojos.^(54, 58)

Un paciente con ambliopía no es capaz de distinguir con el ojo débil imágenes de bajo contraste, como resultado se produce la supresión de este ojo y el ojo dominante se encarga de visualizar toda la imagen. El objetivo de esta técnica es provocar un equilibrio binocular en el sistema visual a través de la discriminación del contraste, utilizando umbrales de coherencia de movimiento y logrando de esta forma medir el grado de supresión.⁽⁵⁹⁾

Este método de entrenamiento consiste en detectar señales de orientación variando el contraste de la imagen a partir de la modificación de la opacidad del ruido, (método de enmascaramiento dicóptico)^(58, 60), averiguando con esto si se puede mejorar la AV y esteroagudeza.

El estímulo que se aplicó para el entrenamiento fueron parches de Gabors (rejillas sinusoidales que combinan la función sinusoidal con una función gaussiana proporcionando representar el dominio espacial con el temporal).

Para poner en práctica este método primero se genera un campo de ruido blanco de media cero, filtrado con un paso de banda aplicándose en el ojo no ambliópico, mientras que las rejillas sinusoidales se presentan en el ojo débil (Fig.1).

1. Discriminación de contraste en una orientación vertical y horizontal, se logra fusión binocular con el objetivo de formar una cruz completa.

2. Se presenta los estímulos de Gabor al ojo ambliope para llamar su atención.

3. El estímulo de Gabor aparece junto con el enmascaramiento de ruido al ojo compañero en un tiempo de 200ms.⁽⁶¹⁾

Mientras se realiza el ejercicio se pidió a los pacientes que pulsaran las teclas en función de que Gabor tenía más contraste averiguándose así el contraste de ruido máximo tolerable.⁽⁶⁰⁾

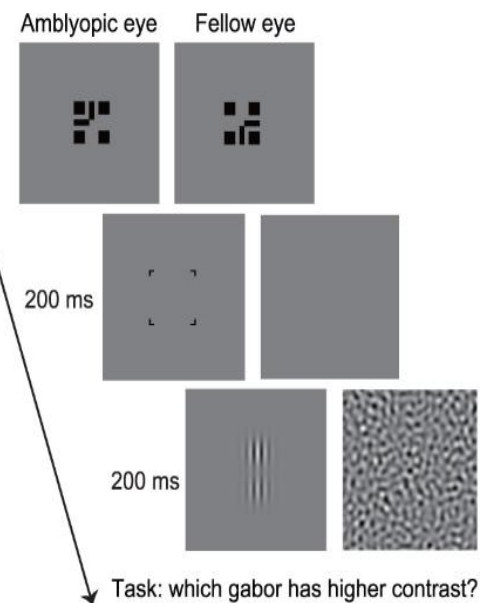


Figura 1. Estímulos de Gabor, utilizados en la discriminación de contraste para cuantificar la gravedad de la supresión. Imagen extraída de: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/31307059/>

Estos estudios demuestran que la AV y la estereoagudeza visual tienen mejoras, sin embargo, no tuvo relación la agudeza visual previa al entrenamiento con la orientación entrenada en el informe, además el estudio tiene limitaciones como la falta de concentración o el agotamiento.⁽⁵⁶⁾ Por ello mismo, Hess et al. desarrollaron diferentes formas del entrenamiento de coherencia de movimiento tanto en niños como en adultos, el método consistía en presentar puntos “señal” al ojo ambliope, con un contraste máximo y una orientación específica (horizontal o vertical). Mientras que se muestra al ojo dominante los puntos “ruido” con un contraste específico que equilibre la fusión binocular y los puntos moviéndose aleatoriamente.^(55, 62)

Uno de estos estudios se hizo exclusivamente para la atención de los niños con los participantes de la película Disney “*Buscando a Nemo*”. Los puntos señal eran los de color gris y los puntos “ruido” de color blanco (Fig.2). La tarea del paciente era identificar hacia donde se dirigían los puntos grises, si a la izquierda o derecha (o del mismo modo si iba hacia un personaje o hacia el otro). Para medir la supresión se presentó los puntos “señal” con un contraste 100%, y los puntos ruido 0% (con el objetivo de que todo esfuerzo recaiga sobre el ojo ambliope) y se calculaba el umbral de coherencia de movimiento (si el umbral era alto significaba que se necesitan más puntos señal para identificar el movimiento). A continuación, se varía el contraste de los puntos “ruido”, (de menor a mayor contraste) de esta forma cada vez le costaba más trabajo al ojo ambliope identificar el movimiento. A mayor supresión, menor es el contraste de los puntos “ruido”.⁽⁵⁹⁾

La finalidad del estudio fue medir la supresión a través de elementos dicópticos, se demostró que la AV era mayor cuando existía una AV más profunda, los umbrales de contraste fueron más bajos en pacientes estrábcicos que en los anisométricos, hay evidencia que los sujetos estrábcicos tienen mayor supresión. Pero esto se puede deber a que la estereopsis era más pobre en los pacientes seleccionados.

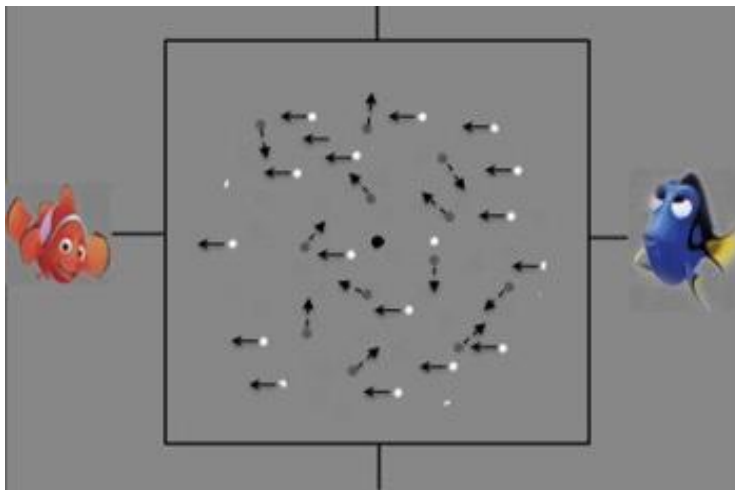


Figura 2. Juego dicóptico para niños se mide la supresión a través de la orientación y movimiento. Imagen extraída de: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0042698912001782?via%3Dihub>

Un ambliope tiende a fomentar la inhibición interocular, el ojo suprime la imagen desenfocada a causa de su mala AV, esto altera las conexiones excitatorias en la corteza sin interrumpir a las inhibitorias.⁽⁶³⁾ Oui et al. en 2013 hallaron una nueva técnica push-pull con el propósito de reducir la supresión, “recuperando las funciones excitatorias del ojo ambliope, mientras que se inhibe la percepción del ojo dominante, de esta forma, se recalibra el equilibrio interocular de las interacciones excitatorias e inhibitorias”.⁽⁶⁴⁾ Los resultados en el contraste y en estereopsis a los 4 meses fueron buenos, además el efecto de aprendizaje dura más de 4 meses lo que lleva a pensar que esta técnica induce plasticidad cortical a largo plazo.⁽⁶⁴⁾ Sus investigaciones sobre esta nueva terapia son prometedoras pero aún se necesita más estudios para su completo desarrollo.

Aunque con la terapia de parche se obtenían buenos resultados, el cumplimiento era escaso y los padres tenían tendencia a rechazarla. Waddingham en 2006 describió uno de los primeros estudios binoculares, sistemas I-BiT, (tratamiento binocular interactivo), una combinación de juegos activos con películas o DVDs pasivos.^(3, 65)

Con la ayuda de un monitor el sujeto ve imágenes tridimensionales de realidad virtual de forma binocular. El software se diseñó con unas lentes de obturación que regulan

el tiempo de exposición de luz, medido en el monitor, se iluminan y se oscurecen con un ritmo tan rápido que el paciente no lo puede percibir para que los estímulos más dinámicos y atractivos fueran vistos por el ojo ambliope, mientras al ojo sano se le aparecen elementos de menor interés con el objetivo de formar una imagen fusionada por ambos ojos.⁽⁶⁶⁾

Para la mayor eficacia el sistema incorporaba DVDs de distinta clase que los niños podían elegir y el juego interactivo “Nux” añadía obstáculos y monedas que capturar (visto principalmente por el ojo ambliope) para hacer el juego más ameno.⁽⁶⁶⁾

La mayoría de los estudios se llevaron a cabo en niños entre 5-10 años, y aquellos que habían sido tratados previamente por terapia de oclusión a los que no les había hecho efecto, la duración fue entre 20-25 minutos una vez por semana durante 15 semanas, la AV mejoró aproximadamente 0.17 logMAR.⁽⁶⁷⁾

La incomodidad de utilizar tres monitores, y tener que asistir muchos días al laboratorio para realizar la terapia hizo que se describiera un sistema dicóptico para iPad, de esta forma, los pacientes podían realizar la terapia en sus hogares. Consistió en un juego popular tipo “Tetris”, un puzzle geométrico que se basa en alinear horizontalmente todas las piezas cambiando su forma. El sujeto necesitaba utilizar filtros anaglifos rojo-verde, para disociar la imagen, la finalidad fue que los bloques rojos, los de alto contraste, son vistos por el ojo ambliope y los bloques verdes que son vistos por el ojo dominante tenían un contraste prácticamente nulo, a medida que subías de nivel significaba que se había logrado la fusión de los dos ojos, y el contraste se podía aumentar un 10% con el fin de conseguir que no se precisase un contraste interocular (Fig.3).⁽⁵⁸⁾

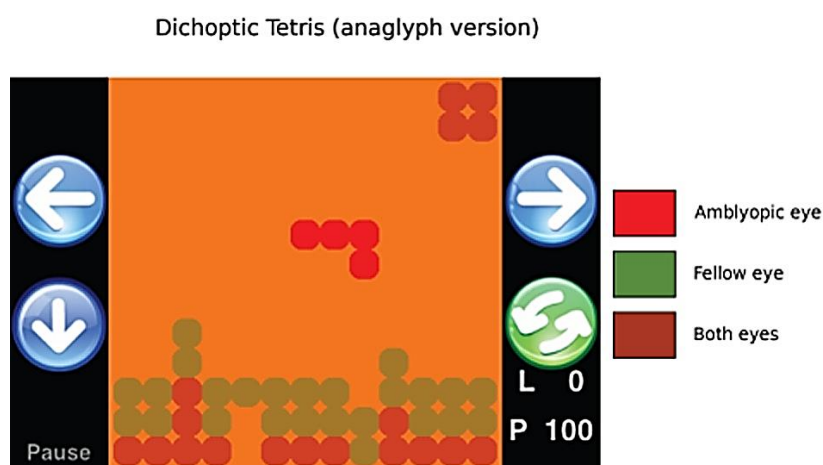


Figura 3. Sistema dicóptico para iPad, con filtro anaglifos, utilizados para mejorar el contraste del ojo ambliope. Imagen extraída de: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/25131694/>

Este estudio fue realizado en jóvenes y adultos que jugaban entre una o dos horas. A la novena semana la mejora media fue de 0.11 logMAR, datos muy parecidos a los que realizó Hess en 2014 con el mismo procedimiento pero utilizando una lente lenticular en vez del filtro anaglifo, su mejora fue de 0.19 log MAR.^(3, 58)

Con esta técnica se comprobó que el tratamiento podía ser efectivo para personas que hubieran pasado su etapa crítica de desarrollo. La AV mejoró en el ojo ambliópico y la estereopsis también obtuvo mejoras. Destacando que la ambliopía anisométrica tiene mayores resultados en la estereopsis que la estrábica.

Otro ensayo ejecutado por Li et al. en 2014 y más tarde en 2015, consistió en realizar la misma terapia, pero con pacientes pequeños, los resultados no fueron tan buenos como en adultos, debido a que el incumplimiento de la terapia era mayor, a los niños les costaba más prestar atención y se cansaban con facilidad por lo que estos resultados se consideran poco concluyentes.^(3, 68)

El incumplimiento de este juego y la falta de motivación, llevaron a numerosos investigadores a poner en práctica distintos tratamientos, Kelly et al. en 2016 en colaboración con Hess, en la Universidad de Canadá,⁽⁶⁹⁾ diseñaron un juego dicóptico más atractivo, “*Dig Rush*”, de aventura, con más acción y participación. Para la realización necesitaban también el uso de gafas anaglifas rojo-verde, la metodología era la misma, reducir el contraste para el ojo dominante (estímulos azules oro y carro), mientras que el ojo ambliope tenía un contraste del 100% (estímulos rojos, bola de fuego y mineros) equilibrando la sensibilidad al contraste en los 2 ojos, buscando así, eliminar la supresión consiguiendo una fusión binocular (Fig.4).^(69, 70)



Figura 4. Juego de aventura dicóptico “*Dig Rush*”, entrena la visión binocular. Imagen extraída de: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC6054712/>

El estudio proporcionado por Kelly et al. se realizó en 28 niños de 4-10 años, los participantes tenían que jugar una hora al día durante 5 días a la semana, la AV media del ojo ambliope con BCVA fue de una mejora de 0.15 logMAR a las 2 semanas de tratamiento. Datos poco concluyentes por el reducido número de pacientes y la poca duración del tratamiento.⁽⁶⁹⁾

Más tarde, Holmes et al. llevaron a cabo un ensayo parecido, la AV en aproximadamente el 30% de los pacientes, a las 8 semanas mejoró 2 líneas en niños de 7-12 años.⁽⁷⁰⁾ La sensibilidad al contraste mejoró a las 4 semanas, el 43% de los participantes llegó al 100% de contraste en el ojo dominante y un 87% llegó a las 8 semanas al 100%. Sin embargo, en niños que habían recibido tratamiento antes no se observaron cambios en la AV o estereopsis, aun así hay pruebas que en los niños más pequeños, menores de 4 años puede ser eficaz esta terapia, estudio que está realizando PEDIG actualmente.⁽⁷⁰⁾

Las diferencias de estos dos estudios pueden deberse a la edad de los pacientes, el estudio de Kelly eran niños más pequeños y que muchos de ellos aún no habían recibido tratamiento, se cree a su vez que en el segundo estudio los niños no han jugado el tiempo que señala el iPad y los resultados pueden estar falseados.⁽⁷⁰⁾

En comparación con el dispositivo de juego de bloques se obtienen mejores resultados. Según los estudios de Kelly et al obtienen mejora de AV 1.7 líneas para el juego "*Dig Rush*" en comparación con la mejora de 1 línea de AV que proporciona el juego de "*Tetris*". Hay evidencias de que esto es debido al cumplimiento del ensayo de "*Dig Rush*" que fue entre 75%-100%, porcentaje bastante elevado en comparación con el juego de bloques.⁽⁶⁹⁾

Nuevas investigaciones estudian sobre la mejora de la terapia dicóptica, se ha demostrado que las películas dicópticas pasivas mejoran la AV en niños y adultos a corto plazo. Esta nueva técnica intenta captar la atención del paciente con un tema de su interés y una visualización real de los contenidos aplicándose los métodos dicópticos, combinando la información vista por los dos ojos formando una imagen coherente sin que el sujeto tenga que participar de una manera activa. El estudio se realizó comparando sujetos que solo utilizaban esta terapia con aquellos que efectuaban este entrenamiento con el uso de parche dos horas antes de la nueva terapia. Los resultados fueron buenos en ambos casos, en apenas dos semanas el grupo con películas dicópticas mejoró una línea de AV, y el segundo grupo 2 líneas.

A su vez, se observó una pequeña mejora en la sensibilidad al contraste y una mayor visión estereoscópica, pacientes pasaron de no poder ni realizar la prueba a medir la visión con la prueba TNO, sin embargo, fueron datos poco concluyentes debido a los pocos sujetos.⁽⁷¹⁾

En este estudio se observaron limitaciones, pues los pacientes fueron estrictamente seleccionados, tenían que presentar ambliopía funcional, secundaria a estrabismos o anisometropía y su AV tenía que haber sido estable durante un año. Se han demostrado mejoras significativas en ambliopías anisométricas.⁽⁷¹⁾

5.6.2. Videojuegos monoculares

El interés de estos videojuegos es determinar si inducen plasticidad cortical debido a las interacciones sensoriales y motoras que se producen en el desarrollo del juego y, al mismo tiempo, ver si mejoraba el rendimiento visual en adultos ambliopes después del periodo sensible de plasticidad. En este sentido, se utilizaron videojuegos con o sin acción con el ojo dominante ocluido.⁽⁷²⁾

En el estudio de Li et al. en 2011 participaron 20 adultos con edades comprendidas entre 15 y 61 años que tenían una AV inicial: 20/25- 20/480, y se distribuyeron en tres grupos: 10 adultos a videojuegos de acción, 3 a videojuegos sin acción y 7 a control cruzado. Este ensayo mostró que tanto los videojuegos de acción, "*Medal of Honor: Pacific Assault*" (MOH), que es un juego de disparos en primera persona como los videojuegos de no acción, "*SimCity Societies*", que exige que el jugador preste atención a detalles espaciales finos y pequeños durante un período de tiempo corto (40–80 h, 2 h / d) utilizando el ojo ambliópico, consiguieron una mejora significativa en la mayoría de funciones visuales fundamentales: desde bajo nivel como la agudeza visual (33%) y la agudeza posicional (16%) hasta alto nivel como la atención espacial (37%) y la estereopsis (54%).⁽⁷²⁾

El grupo de control cruzado combinó 20h de oclusión con 40h posteriores de videojuegos con y sin acción, demostrando que la mejora no se debía únicamente a la oclusión, si no que dependía en gran parte de los videojuegos que contribuían, además, a una recuperación más rápida de la visión. En el ensayo se utilizó ruido posicional para estimular los mecanismos neuronales que intervienen en la mejora visual consiguiendo una disminución de la distorsión espacial (7%) y mayor eficiencia de procesamiento (33%).⁽⁷²⁾

Gambacorta et al. hicieron un estudio con 21 niños ambliopes de edad media 9.95 ± 3.14 años en el que se asignaron 2 grupos. El primero, formado por 11 niños, completo un videojuego con el ojo dominante ocluido y los 10 restantes lo completaron con dicópticos. Se hizo una evaluación inicial y otra tras 10 y 20 horas de juego y se comprobó que las mejoras continuaban transcurridas 6 y 10 semanas. La AV mejoró un 38% en el grupo dicóptico y un 15% en el grupo monocular, la estereoagudeza también mejoró un 17% después del entrenamiento dicóptico, y un 15% después del entrenamiento monocular.⁽⁷³⁾

Aunque las mejoras fueron ligeramente superiores en el grupo dicóptico, no pueden considerarse significativas desde el punto de vista estadístico. Ambos estudios concluyeron que los videojuegos monoculares podrían ser beneficiosos para el tratamiento de la ambliopía, pero sería interesante realizar futuros estudios para precisar el entrenamiento más adecuado en función de las características del paciente.

5.6.3. Videojuegos específicos para el desarrollo de la estereopsis

La estereopsis en pacientes con ambliopía no obtenía buenos resultados al tratarla de forma convencional con corrección óptica, oclusión con parche o penalización con atropina del ojo no ambliope.⁽⁷⁴⁾ Levi et al. en 2015 analizaron el efecto de la oclusión, el AP monocular, la estimulación dicóptica y la estimulación directa de la estereopsis, concluyendo que la estimulación directa de la estereopsis era la mejor técnica para su recuperación.⁽⁷⁵⁾

Más tarde, Ding y Levi consiguieron recuperar la estereopsis lateral en 5 pacientes ambliopes estrábicos mediante un estereoscopio adaptado al ordenador que fusionaba las imágenes.⁽⁷⁶⁾ De igual manera, en otro estudio publicado por Astle et al., donde también se utilizó un estereoscopio adaptado al ordenador presentando imágenes en formato *Randot Dot* se mejoró la estereopsis en adultos ambliopes.⁽⁷⁷⁾ Recientemente, Xi et al. comprobaron la mejora de la estereopsis en 11 pacientes ambliopes adultos utilizando un programa de AP en un ordenador cuya pantalla presentaba texturas anaglifas con diferente disparidad.⁽⁴⁷⁾ Por último, Vedamurthy et al. realizaron un estudio a 11 adultos que presentaban deficiencia de estereopsis, que consistía en entrenar las tareas motoras en un entorno de realidad virtual durante un periodo comprendido entre 8 y 11 semanas.⁽⁷⁸⁾

En esta línea, Portela et al. desarrollaron un videojuego donde el sujeto tenía que señalar entre cuatro opciones la que correspondía a una figura con una agudeza visual estereoscópica determinada (Fig. 5). Tras tres aciertos seguidos, el programa proporcionaba otra imagen con una estereopsis más fina. Se establecieron tres niveles: pobre (840''-300''), gruesa (480''-210'') y moderada-fina (300''-30''), de tal manera que los pacientes comenzaban con el nivel en el que podían identificar el estímulo de estereopsis.⁽⁷⁹⁾

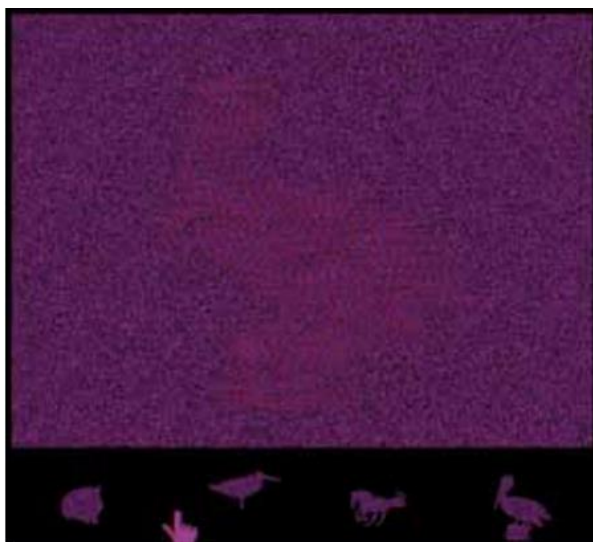


Figura 5. Imagen en la que el sujeto debe identificar la figura correspondiente a una determinada agudeza visual estereoscópica y seleccionar una de las cuatro opciones. Imagen extraída de: <https://www.cqcoo.es/ediciones/marzo-2015-2>

En su estudio Portela con 11 pacientes de edades comprendidas entre 7 y 14 años que presentaban ambliopía estrábica o anisométrica, y que habían sido tratados previamente sin conseguir una buena estereopsis fueron sometidos a 60 sesiones de entrenamiento de 8 minutos, y con una duración total de 8 horas. La estereoagudeza medida con los círculos de Wirt mejoró en al menos dos niveles con valores igual o superior a 140'' en 10 sujetos, mientras que en un caso solo mejoró en un nivel. Estos resultados se mantuvieron de forma estable durante 6 meses. El cumplimiento fue del 88,36%. Este método ha demostrado que el entrenamiento de estereograma de puntos aleatorios no es selectivo ya que el aprendizaje se transfiere a la estereoagudeza lateral medial.⁽⁷⁹⁾

En otro estudio de Portela et al. se incluyeron 5 sujetos de 5 a 21 años con una estereopsis inicial de 800'' medida con *Randot Dot Preschool*, en tres de ellos mejoró un 50%, en uno un 75% y en otro un 88%. Mientras que la AV permaneció estable en todos los sujetos.⁽⁷⁴⁾

6. CONCLUSIONES

1. El primer paso para el tratamiento de la ambliopía es la prescripción del error refractivo en caso de existir, puesto que es un método eficaz para mejorar la AV de forma espontánea en numerosos casos.
2. Con métodos tradicionales de oclusión o penalización con atropina se consiguen buenos resultados en la mejora de la AV si se tratan en edades tempranas.
3. Los últimos avances de investigación demuestran que el sistema visual adulto tiene suficiente plasticidad como para poder recuperar su función binocular mediante nuevas técnicas de aprendizaje perceptivo y videojuegos.
4. Los programas de aprendizaje perceptivo como el entrenamiento dicóptico, videojuegos monoculares y de estimulación directa de la estereopsis, mejoran la AV, la sensibilidad al contraste, la estereopsis y eliminan la supresión independientemente de la edad de los pacientes.
5. Los tratamientos de aprendizaje perceptivo no se pueden considerar los sustitutos de terapia convencional porque están en fase de investigación.
6. Los tratamientos convencionales combinados con las nuevas terapias de aprendizaje perceptivo y videojuegos son una buena solución para el tratamiento de la ambliopía refractiva y estrábica.

7. BIBLIOGRAFÍA

1. Ciuffreda KJ, Levi DM, Selenow A. Amblyopia: Basic and Clinical Aspects. Boston: Butterworth-Heinemann. 1991;64:1.
2. Wallace DK, Repka MX, Lee KA, Melia M, Christiansen SP, Morse CL, et al. Amblyopia Preferred Practice Pattern®. *Ophthalmology*. 2018;125(1):P105-p42.
3. Pineles SL, Aakalu VK, Hutchinson AK, Galvin JA, Heidary G, Binenbaum G, et al. Binocular Treatment of Amblyopia A Report by the American Academy of Ophthalmology. *Ophthalmology*. 2020;127(2):261-72.
4. Gopal SKS, Kelkar J, Kelkar A, Pandit A. Simplified updates on the pathophysiology and recent developments in the treatment of amblyopia: A review. *Indian J Ophthalmol*. 2019;67(9):1392-9.
5. Mehboob MA, Muhammad S, Farooq MA. Full time occlusion VS part time occlusion in treatment of monocular amblyopia. *Pakistan Journal of Medical Sciences*. 2019;35(6):1647-51.
6. Rouse M, Cooper J, Cotter S, Press L, Tannen B. Care of the Patient with Amblyopia. American Optometric Association. 1994;243.
7. Rajavi Z, Sabbaghi H, Sharifi EA, Behradfar N, Kheiri B. Comparison between patching and interactive binocular treatment in amblyopia: A randomized clinical trial. *Journal of Current Ophthalmology*. 2019;31(4):426-31.
8. Paiva ACM, Fonseca AS. Low-power lasers on amblyopia. *Laser Phys Lett*. 2019;16(7):18.
9. Liang ML, Xiao H, Xie B, Yin XT, Wang J, Yang H. Morphologic changes in the visual cortex of patients with anisometropic amblyopia: a surface-based morphometry study. *BMC Neurosci*. 2019;20(1):7.
10. Lu L, Li Q, Zhang LQ, Tang S, Yang XB, Liu LQ, et al. Altered cortical morphology of visual cortex in adults with monocular amblyopia. *J Magn Reson Imaging*. 2019;50(5):1405-12.
11. Suttle CM. Active treatments for amblyopia: a review of the methods and evidence base. *Clin Exp Optom*. 2010;93(5):287-99.
12. Cotter SA, Edwards AR, Wallace DK, Beck RW, Arnold RW, Astle WF, et al. Treatment of anisometropic amblyopia in children with refractive correction. *Ophthalmology*. 2006;113(6):895-903.
13. Stewart C.E , Moseley M.J, Fielder A. R, Stephens D.A, cooperative atM. Refractive adaptation in amblyopia: quantification of effect and implications for practice. *Br J Ophthalmol*. 2004;88:1552–6.
14. Lin PW, Chang HW, Lai IC, Teng MC. Visual outcomes after spectacles treatment in children with bilateral high refractive amblyopia. *Clin Exp Optom*. 2016;99(6):550-4.
15. Stewart CE, Fielder AR, Stephens DA, Moseley MJ. Design of the Monitored Occlusion Treatment of Amblyopia Study (MOTAS). *British Journal of Ophthalmology*. 2002;86(8):915-9.
16. Yazdani N, Sadeghi R, Momeni-Moghaddam H, Zarifmahmoudi L, Ehsaei A, Barrett BT. Part-time versus full-time occlusion therapy for treatment of amblyopia: A meta-analysis. *Journal of Current Ophthalmology*. 2017;29(2):76-84.
17. Irfani I, Feriyanto F, Oktarima P, Kartasasmita A. Visual Acuity Improvement in Continuous vs Divided Occlusion in Anisometropic Amblyopia. *Open Ophthalmol J*. 2018;12:1-6.
18. Shim KY, Lee DC, Lee SY. Clinical Analysis of Factors Affecting Successful Occlusion Treatment and Visual Recovery Time in Amblyopia. *J Kor Ophthalmol Soc*. 2017;58(11):1254-9.

19. Lunghi C, Burr DC, Morrone C. Brief periods of monocular deprivation disrupt ocular balance in human adult visual cortex. *Current Biology*. 2011;21(14):R538-R9.
20. Zhou JW, He ZF, Wu YD, Chen YY, Chen XX, Liang YJ, et al. Inverse Occlusion: A Binocularly Motivated Treatment for Amblyopia. *Neural Plast*. 2019;12.
21. Li TJ, Qureshi R, Taylor K. Conventional occlusion versus pharmacologic penalization for amblyopia. *Cochrane Database of Systematic Reviews*. 2019(8):61.
22. Scheiman MM, Hertle RW, Kraker RT, Beck RW, Birch EE, Felius J, et al. Patching vs atropine to treat amblyopia in children aged 7 to 12 years: a randomized trial. *Arch Ophthalmol*. 2008;126(12):1634-42.
23. Seol BR, Yu YS, Kim SJ. Effect of 4-Month Intermittent Atropine Penalization in Amblyopic Children for Whom Patch Therapy Had Failed. *J Pediatr Ophthalmol Strabismus*. 2017;54(6):375-80.
24. Saito J, Imaizumi H, Yamatani A. Physical, chemical, and microbiological stability study of diluted atropine eye drops. *J Pharm Health Care Sci*. 2019;5(1):6.
25. Piano M, O'Connor AR, Newsham D. Use of Atropine Penalization to Treat Amblyopia in UK Orthoptic Practice. *J Pediatr Ophthalmol Strabismus*. 2014;51(6):363-9.
26. Wakayama A, Nishina S, Miki A, Utsumi T, Sugawara J, Hayashi T, et al. Incidence of side effects of topical atropine sulfate and cyclopentolate hydrochloride for cycloplegia in Japanese children: a multicenter study. *Jpn J Ophthalmol*. 2018;62(5):531-6.
27. Pediatric Eye Disease Investigator G, Repka MX, Kraker RT, Dean TW, Beck RW, Siatkowski RM, et al. A randomized trial of levodopa as treatment for residual amblyopia in older children. *Ophthalmology*. 2015;122(5):874-81.
28. Kraus CL, Culican SM. New advances in amblyopia therapy I: binocular therapies and pharmacologic augmentation. *Br J Ophthalmol*. 2018;102(11):1492-6.
29. Kothari M. Occlusion-amblyopia following high dose oral levodopa combined with part time patching. *Indian J Ophthalmol*. 2014;62(12):1163-+.
30. Farvardin M, Khalili MR, Behnia M. Levodopa Plus Occlusion Therapy versus Occlusion Therapy Alone for Children with Anisometropic Amblyopia. *J Ophthal Vis Res*. 2019;14(4):457-64.
31. Wang SP, Li QX, Li SM. Systematic Evaluation of Levodopa Effect on Visual Improvement in Amblyopia: A Meta-analysis. *Clin Neuropharmacol*. 2020;43(1):20-5.
32. Pawar PV, Mumbare SS, Patil MS, Ramakrishnan S. Effectiveness of the addition of citicoline to patching in the treatment of amblyopia around visual maturity: A randomized controlled trial. *Indian J Ophthalmol*. 2014;62(2):124-9.
33. Spierer A, Raz J, BenEzra O, Herzog R, Cohen E, Karshai I, et al. Treating Amblyopia with Liquid Crystal Glasses: A Pilot Study. *Investigative Ophthalmology & Visual Science*. 2010;51(7):3395-8.
34. Wang JY, Neely DE, Galli J, Schliesser J, Graves A, Damarjian TG, et al. A pilot randomized clinical trial of intermittent occlusion therapy liquid crystal glasses versus traditional patching for treatment of moderate unilateral amblyopia. *J Aapos*. 2016;20(4):326-31.
35. Sasaki M, Iwasaki T, Kondo H, Tawara A. Properties of new diffusion filters for treatment of amblyopia with accurate occlusive effects. *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol*. 2016;254(6):1181-7.
36. Chen Z, Li J, Thompson B, Deng D, Yuan J, Chan L, et al. The effect of Bangerter filters on binocular function in observers with amblyopia. *Invest Ophthalmol Vis Sci*. 2014;56(1):139-49.
37. Rutstein RP, Quinn GE, Lazar EL, Beck RW, Bonsall DJ, Cotter SA, et al. A randomized trial comparing Bangerter filters and patching for the treatment of moderate amblyopia in children. *Ophthalmology*. 2010;117(5):998-1004.e6.

38. Laria C, Piñero DP, Alió JL. Characterization of Bangerter filter effect in mild and moderate anisometropic amblyopia: predictive factors for the visual outcome. *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol.* 2011;249(5):759-66.
39. Sabetti L, Masedu F, Tresca C, Bianchi F, Valenti M. The use of choline in association with the Bangerter filters for the treatment of amblyopia. *Int J Ophthalmol.* 2017;10(11):1777-8.
40. Lee HJ, Kim SJ. Effectiveness of binocularity-stimulating treatment in children with residual amblyopia following occlusion. *BMC Ophthalmol.* 2018;18:6.
41. Gibson EJ. Perceptual learning. *Annu Rev Psychol.* 1963;14:29-56.
42. Huang CB, Lu ZL, Zhou YF. Mechanisms underlying perceptual learning of contrast detection in adults with anisometropic amblyopia. *J Vision.* 2009;9(11):14.
43. Portela JA. ¿Puede un óptico-optometrista rehabilitar el área visual del cerebro en un sujeto ambliope? *Gaceta.* 2018.
44. Levi DM, Li RW. Perceptual learning as a potential treatment for amblyopia: A mini-review. *Vision Res.* 2009;49(21):2535-49.
45. Barollo M, Contemori G, Battaglini L, Pavan A, Casco C. Perceptual learning improves contrast sensitivity, visual acuity, and foveal crowding in amblyopia. *Restor Neurol Neurosci.* 2017;35(5):483-96.
46. Gu L, Deng SY, Feng L, Yuan J, Chen ZP, Yan JH, et al. Effects of Monocular Perceptual Learning on Binocular Visual Processing in Adolescent and Adult Amblyopia. *iScience.* 2020;23(2):20.
47. Xi J, Jia WL, Feng LX, Lu ZL, Huang CB. Perceptual Learning Improves Stereoacuity in Amblyopia. *Investigative Ophthalmology & Visual Science.* 2014;55(4):2384-91.
48. Li RW, Levi DM. Characterizing the mechanisms of improvement for position discrimination in adult amblyopia. *J Vis.* 2004;4(6):476-87.
49. Li RW, Young KG, Hoenig P, Levi DM. Perceptual learning improves visual performance in juvenile amblyopia. *Investigative Ophthalmology & Visual Science.* 2005;46(9):3161-8.
50. Li RW, Provost A, Levi DM. Extended perceptual learning results in substantial recovery of positional acuity and visual acuity in juvenile amblyopia. *Investigative Ophthalmology & Visual Science.* 2007;48(11):5046-51.
51. Polat U, Ma-Naim T, Belkin M, Sagi D. Improving vision in adult amblyopia by perceptual learning. *Proc Natl Acad Sci U S A.* 2004;101(17):6692-7.
52. Chen PL, Chen JT, Fu JJ, Chien KH, Lu DW. A pilot study of anisometropic amblyopia improved in adults and children by perceptual learning: an alternative treatment to patching. *Ophthalmic Physiol Opt.* 2008;28(5):422-8.
53. Díaz Núñez YC, Díaz Núñez YJ. Tratamiento binocular de la ambliopía basado en la realidad virtual. *Revista Cubana de Oftalmología.* 2016;29:674-87.
54. Ojiabo SN, Munsamy AJ. A review of the treatment of anisometropic amblyopia in adults using dichoptic therapy. *Afr Vis Eye Health J.* 2020;79(1):9.
55. Hess RF, Thompson B. Amblyopia and the binocular approach to its therapy. *Vision Res.* 2015;114:4-16.
56. Liu XY, Zhang JY. Dichoptic De-Masking Learning in Adults With Amblyopia and Its Mechanisms. *Invest Ophthalmol Vis Sci.* 2019;60(8):2968-77.
57. Chow A, Giaschi D, Thompson B. Dichoptic Attentive Motion Tracking is Biased Toward the Nonamblyopic Eye in Strabismic Amblyopia. *Invest Ophthalmol Vis Sci.* 2018;59(11):4572-80.
58. Hess RF, Babu RJ, Clavagnier S, Black J, Bobier W, Thompson B. The iPod binocular home-based treatment for amblyopia in adults: efficacy and compliance. *Clin Exp Optom.* 2014;97(5):389-98.

59. Narasimhan S, Harrison ER, Giaschi DE. Quantitative measurement of interocular suppression in children with amblyopia. *Vision Res.* 2012;66:1-10.
60. Liu XY, Zhang JY. Dichoptic training in adults with amblyopia: Additional stereoacuity gains over monocular training. *Vision Res.* 2018;152:84-90.
61. Liu X-Y, Zhang J-Y. Dichoptic De-Masking Learning in Adults With Amblyopia and Its Mechanisms. *Invest Ophthalmol Vis Sci.* 2019;60(8):2968-77.
62. Levi DM, Knill DC, Bavelier D. Stereopsis and amblyopia: A mini-review. *Vision Res.* 2015;114:17-30.
63. Ruiz MLB. *Ambliopía desde la optometría pediátrica: Universidad de La Salle; 2015.*
64. Ooi TL, Su YR, Natale DM, He ZJJ. A push-pull treatment for strengthening the 'lazy eye' in amblyopia. *Curr Biol.* 2013;23(8):R309-R10.
65. Waddingham PE, Butler TKH, Cobb SV, Moody ADR, Comaish IF, Haworth SM, et al. Preliminary results from the use of the novel Interactive Binocular Treatment (I-BiT (TM)) system, in the treatment of strabismic and anisometropic amblyopia. *Eye.* 2006;20(3):375-8.
66. Foss AJ, Gregson RM, MacKeith D, Herbison N, Ash IM, Cobb SV, et al. Evaluation and development of a novel binocular treatment (I-BiT™) system using video clips and interactive games to improve vision in children with amblyopia ('lazy eye'): study protocol for a randomised controlled trial. *Trials.* 2013;14(1):145.
67. Rajavi Z, Sabbaghi H, Sharifi EA, Behradfar N, Yaseri M. The role of Interactive Binocular Treatment system in amblyopia therapy. *J Curr Ophthalmol.* 2016;28(4):217-22.
68. Li SL, Jost RM, Morale SE, Stager DR, Dao L, Stager D, et al. A binocular iPad treatment for amblyopic children. *Eye.* 2014;28(10):1246-53.
69. Kelly KR, Jost RM, Dao L, Beauchamp CL, Leffler JN, Birch EE. Binocular iPad Game vs Patching for Treatment of Amblyopia in Children: A Randomized Clinical Trial. *JAMA Ophthalmol.* 2016;134(12):1402-8.
70. Holmes JM, Manny RE, Lazar EL, Birch EE, Kelly KR, Summers AI, et al. A Randomized Trial of Binocular Dig Rush Game Treatment for Amblyopia in Children Aged 7 to 12 Years. *Ophthalmology.* 2019;126(3):456-66.
71. Sauvan L, Stolowy N, Denis D, Matonti F, Chavane F, Hess RF, et al. Contribution of Short-Time Occlusion of the Amblyopic Eye to a Passive Dichoptic Video Treatment for Amblyopia beyond the Critical Period. *Neural Plast.* 2019;2019:6208414.
72. Li RW, Ngo C, Nguyen J, Levi DM. Video-Game Play Induces Plasticity in the Visual System of Adults with Amblyopia. *PLoS Biol.* 2011;9(8).
73. Gambacorta C, Nahum M, Vedamurthy I, Bayliss J, Jordan J, Bavelier D, et al. An action video game for the treatment of amblyopia in children: A feasibility study. *Vision Res.* 2018;148:1-14.
74. Portela JA, Ruiz-Alcocer J, Garrido R, Martín S. Mejoría en la estereopsis de pacientes con historial de ambliopía mediante un programa de aprendizaje perceptivo. *Gaceta.* 2015.
75. Levi DM, Knill DC, Bavelier D. Stereopsis and amblyopia: A mini-review. *Vision Res.* 2015;114:17-30.
76. Ding J, Levi DM. Recovery of stereopsis through perceptual learning in human adults with abnormal binocular vision. *Proc Natl Acad Sci U S A.* 2011;108(37):E733-E41.
77. Astle AT, McGraw PV, Webb BS. Recovery of stereo acuity in adults with amblyopia. *BMJ Case Reports.* 2011:1-4.

78. Vedamurthy I, Knill DC, Huang SJ, Yung A, Ding J, Kwon O-S, et al. Recovering stereo vision by squashing virtual bugs in a virtual reality environment. *Philosophical Transactions B*. 2016.
79. Martín-González S, Portela-Camino JA, Ruiz-Alcocer J, Illarramendi-Mendicute I, Garrido-Mercado R. Stereoacuity Improvement using Random-Dot Video Games. *Journal of Visualized Experiments*. 2020(155).