



UNIVERSIDAD DE SEVILLA

FACULTAD DE FARMACIA

TRABAJO FIN DE GRADO

**EQUIPOS TECNOLÓGICOS Y PROGRAMAS
INFORMÁTICOS APLICADOS A LA CORRECCIÓN DE
LA AMBLIOPÍA Y SU RIGOR CIENTÍFICO**



REALIZADO POR: CRISTINA MARÍA SÁNCHEZ GARCÍA



UNIVERSIDAD DE SEVILLA

FACULTAD DE FARMACIA

TRABAJO FIN DE GRADO

GRADO EN ÓPTICA Y OPTOMETRÍA

**“EQUIPOS TECNOLÓGICOS Y PROGRAMAS INFORMÁTICOS
APLICADOS A LA CORRECCIÓN DE LA AMBLIOPÍA Y SU
RIGOR CIENTÍFICO”**

CRISTINA MARÍA SÁNCHEZ GARCÍA

JULIO 2021

DEPARTAMENTO: FÍSICA DE LA MATERIA CONDENSADA

TUTOR: JUAN JOSÉ CONEJERO DOMÍNGUEZ

REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

RESUMEN

La ambliopía es una alteración en la percepción sensorial que limita el nivel de procesamiento desde las bases más elementales de análisis, producido por una fase de disminución en la estimulación durante los periodos críticos de desarrollo del sistema visual, que puede tener consecuencias medibles en el ámbito clínico como una disminución en la AV y en la sensibilidad al contraste. El tratamiento clásico o convencional que se emplea hoy en día es la corrección óptica y, posteriormente, oclusión y/o penalización del ojo no ambliope. No obstante, teniendo en cuenta los problemas de adherencia y resultados subóptimos que presenta, se han ido desarrollando terapias alternativas: terapia visual u ortóptica, terapia dicóptica, acupuntura y terapia de oclusión intermitente.

El objetivo principal de esta revisión bibliográfica es mostrar los últimos equipos tecnológicos y programas informáticos empleados en la corrección de la ambliopía en menores de 18 años y analizar sus resultados expuestos en revistas científicas con el fin de determinar su eficacia y rigor científico. Para ello, se emplearon 3 bases de datos: Pubmed, Scopus y Google Scholar. De las 19 publicaciones seleccionadas se agruparon las que seguían la misma técnica de tratamiento y, a su vez, las que empleaban el mismo equipo tecnológico o programa informático.

Los equipos tecnológicos y programas informáticos empleados recientemente en la corrección de la ambliopía en menores de 18 años son los juegos de iPad binoculares (Tetris y Dig Rush), el juego de acción dicóptico Unreal Tournament, el sistema I-Bit™, las películas dicópticas, el dispositivo Occlu-pad, la realidad virtual (terapia Luminopia One y el juego Ice Cream Truck), las gafas de oclusión intermitente (Amblyz™ y Alternative Flicker Glass) y el láser Biolite. En comparación con el parche, el Occlu-pad, la terapia Luminopia One, las películas dicópticas, los juegos Ice Cream Truck y Unreal Tournament, y las gafas Amblyz™ y Alternative Flicker Glass consiguen resultados similares.

Las nuevas líneas de investigación se enfocan en mantener la visión binocular durante el tratamiento y conseguir un buen cumplimiento. Se proponen ensayos controlados aleatorizados con una muestra de gran cuantía y seguimiento postratamiento para verificar los resultados prometedores.

Palabras clave: “Correction”, “treatment”, “amblyopia”, “therapy”.

ABSTRACT

Amblyopia is an sensory disorder that limits the level of processing from the most elementary bases of analysis, This was produced by a phase of decrease in stimulation during critical periods of visual development, which may have measurable implications for clinical field such as a decrease in visual acuity and contrast sensitivity. Nowadays the conventional treatment is the optical correction and subsequently the occlusion and/or the penalization of the non-amblyopic eye. However, alternative therapies have been developed on account of adherence problems and suboptimal results: visual therapy or orthoptics, dichoptic therapy, acupuncture and intermittent occlusion therapy.

The main goal of this bibliographic revision is to show the latest technology equipment and software that are utilized in the correction of the amblyopia in minors and to analyze their exposed results in scientific journals in order to determine their efficacy and scientific evidence. For that, 3 databases were used: Pubmed, Scopus and Google scholar. 19 publications were selected, which were grouped according to treatment technique and technology equipment or software.

Recently, the technology equipment and software that are utilized in the correction of the amblyopia in minors are binocular iPad games (Tetris and Dig Rush), the dichoptic action game Unreal Tournament, the I-Bit™ system, dichoptic movies, the Occlu-pad, the virtual reality (Luminopia one and Ice Cream truck), intermittent occlusion glasses (Amblyz™ and Alternative Flicker Glass) and Biolite. In comparison with patching, the Occlu-pad, Luminopia One, dichoptic movies, Ice Cream Truck, Unreal Tourment, Amblyz™ and Alternative Flicker Glass get similar results.

The new lines of research focus on keeping the binocular vision during the treatment and achieving a good compliance. It proposes randomized controlled trials with a large sample and post-treatment monitoring to verify the promising results.

Keywords: “Correction”, “treatment”, “amblyopia”, “therapy”.

ÍNDICE

I. Introducción	5
I. 1. Definición de ambliopía.....	5
I. 2. Características clínicas de la ambliopía	5
I. 3. Etiología y clasificación de la ambliopía	6
I. 4. Tratamiento actual de la ambliopía.....	7
I. 5. Conceptos básicos sobre tecnología informática	9
I. 6. Justificación e interés académico.....	10
II. Objetivos.....	10
III. Metodología	11
IV. Resultados y discusión	12
IV. 1. Terapia dicóptica.....	14
IV. 1.1 Juegos de iPad binoculares	14
IV. 1.1.1 Tetris	14
IV. 1.1.2 Dig Rush	17
IV. 1.2 Unreal Tournament	19
IV. 1.3 Sistema I-BiT™	21
IV. 1.4 Películas	23
IV. 1.5 Occlu-pad.....	25
IV. 1.6 Realidad virtual	27
IV. 1.6.1 Luminopia One	27
IV. 1.6.2 Ice Cream Truck.....	28
IV. 2. Terapia de oclusión intermitente.....	30
IV. 2.1 Gafas Amblyz™.....	30
IV. 2.2 Alternative Flicker Glass	32
IV. 3. Acupuntura láser	33
IV. 3. 1. Láser Biolite.....	33
IV. 4. Rigor científico de los tratamientos	34
IV. 5. Eficacia de los tratamientos	35
V. Conclusiones	37
VI. Bibliografía	37

ÍNDICE DE TABLAS Y FIGURAS

Tabla 1. Número de artículos obtenidos con cada una de las palabras clave en P, S y G.....	10
Tabla 2. Estudios analizados (número de participantes, tratamiento, edad y tipo de ambliopía)...	12
Tabla 3. Condiciones de contraste (Tetris).....	14
Tabla 4. Características de los artículos analizados (Tetris).....	14
Tabla 5. Condiciones de contraste (Dig Rush).....	17
Tabla 6. Características de los artículos analizados (Dig rush).....	17
Tabla 7. Características de los artículos analizados (Sistema I-BiT™).....	21
Tabla 8. Características de los artículos analizados (Películas).....	24
Tabla 9. Características de los artículos analizados (Occlu-pad).....	25
Figura 1. Captura de pantalla del juego Tetris, gafas anaglifas rojo/verde y máscaras infantiles personalizadas.....	13
Figura 2. Cruz Nonius.....	14
Figura 3. Mejora de AV (Tetris y parche).....	16
Figura 4. Captura de pantalla del juego Dig Rush.....	16
Figura 5. Mejora de AV (Dig Rush, corrección óptica y parche).....	18
Figura 6. Capturas de pantalla de la versión dicóptica e infantil de Unreal Tournament.....	19
Figura 7. Alineación dicóptica.....	19
Figura 8. Mejora de AV (Sistema I-BiT™, parche y juego no I-BiT™).....	22
Figura 9. Visualización de la película por cada ojo.....	22
Figura 10. Sistema de tratamiento y visión del niño a través de cada ojo.....	23
Figura 11. Apariencia del Occlu-pad.....	25
Figura 12. Mejora de AV (Occlu-pad, corrección óptica y parche).....	26
Figura 13. Luminopia One.....	27
Figura 14. Ice Cream Truck.....	28
Figura 15. Mejora de AV (BF + HMD, HMD y BF).....	28
Figura 16. Gafas Amblyz™.....	29
Figura 17. Gafas Amblyz™ con microsensor TheraMon.....	30
Figura 18. Mejora de AV (Gafas Amblyz™ y parche).....	31
Figura 19. Mejora de AV (AFG y parche).....	32
Figura 20. Puntos de acupuntura seleccionados.....	33
Figura 21. Clasificación NHMRC de los estudios analizados en relación con su tratamiento.....	34
Figura 22. Mejora media de la AV de las terapias analizadas.....	34
Figura 23. Número y porcentaje de individuos con una mejora \geq de 0,2 logMAR e inferior.....	35

I. Introducción

I. 1. Definición de ambliopía

Definir de forma apropiada el término de ambliopía, procedente del griego *amblyz* (débil) y *opía* (vista), es complicado, ya que engloba múltiples aspectos como la agudeza visual (AV) y la sensibilidad al contraste, y la mayoría de los autores que intentan conceptualizarla se centran en los parámetros evaluados en sus estudios.

Una de las definiciones más aceptadas es la propuesta por Burian en 1956, en la que se considera a la ambliopía como una disminución de la visión unilateral o bilateral en ausencia de causas físicas en el examen ocular (Burian, 1956). Siguiendo la misma línea, la Academia Americana de Oftalmología (AAO) en 2017 la define como una disminución unilateral o, con menor frecuencia, bilateral de la AV mejor corregida que suele ocurrir en un ojo sin anomalías aparentes (Wallace et al., 2018). No obstante, ninguna de las anteriores engloba el concepto de la ambliopía en todo su conjunto y era tal la necesidad de establecerlo que, en 2018, Goñi y Ortiz llevaron a cabo una revisión en profundidad sobre el tema y determinaron que: La ambliopía es una alteración en la percepción sensorial que limita el nivel de procesamiento desde las bases más elementales de análisis, producido por una fase de disminución en la estimulación durante los periodos críticos de desarrollo del sistema visual, que puede tener consecuencias medibles en el ámbito clínico como una disminución en la AV y en la sensibilidad al contraste (Goñi y Ortiz, 2018).

I. 2. Características clínicas de la ambliopía

Con el fin de seleccionar el tratamiento idóneo, es necesario conocer cómo afecta al sistema visual esta alteración. Las principales consecuencias de presentar ambliopía, según (Alcalde et al., 2018), son:

- Disminución de la AV.

De acuerdo con (García et al., 2016), la AV es “la capacidad del sistema visual para diferenciar dos puntos próximos entre sí y separados por un ángulo determinado”. Existen distintas formas de anotar la AV, entre las que destaca la decimal y la logarítmica. En valor decimal, se considera normal una AV unidad. En cambio, si se utiliza la escala logarítmica, esta corresponde a 0 logMAR (García et al., 2016). A lo largo del trabajo se indicará la AV en valor logarítmico (logMAR), ya que es el más preciso. No obstante, como inconveniente se muestra que es muy poco intuitivo (a mayor valor de AV, menor visión presenta el paciente).

- Pérdida de sensibilidad al contraste.

La sensibilidad al contraste es definida por (López, 2009) como “la capacidad de discriminar diferencias de iluminación entre áreas adyacentes, cuyo umbral se estima como la menor cantidad de contraste que se hace para lograr esta distinción”. Esta se evalúa en diferentes frecuencias, relacionándose las altas con objetos pequeños y las bajas con objetos de gran tamaño (López, 2009). En pacientes ambliopes suele estar afectada la sensibilidad al contraste en las frecuencias altas, ya que esta se relaciona directamente con la AV (Ondategui, 1998).

- Problemas binoculares.

Entre ellos destacan una baja o nula estereopsis (visión en tres dimensiones) y la supresión interocular (pérdida de percepción visual por el ojo ambliope). Todo ello puede ocasionar que los movimientos finos y gruesos del paciente sean imperfectos, desarrollándose una coordinación ojo-mano anómala (Alcalde et al., 2018).

I. 3. Etiología y clasificación de la ambliopía

En función de la causa de la ambliopía, esta se puede clasificar en ambliopía funcional u orgánica. La ambliopía orgánica es aquella cuya disminución de AV se debe a lesiones oculares o cerebrales, entre las que se destaca la atrofia óptica, una cicatriz macular o daño en el lóbulo occipital del cerebro (Wright, 2006). Por el contrario, la disminución de AV característica de la ambliopía funcional es causada sin una lesión existente que la justifique (Merchante, 2013). Dentro de este último tipo, se puede distinguir:

- Ambliopía estrábica.

Esta clase de ambliopía se asocia o es secundaria a un desalineamiento manifiesto de los ejes visuales (estrabismo) (Martín y Vecilla, 2010). Al obtener ambos ojos imágenes distintas, el cerebro suprime la procedente del ojo desviado provocando la degradación de sus conexiones neuronales (Wright, 2006).

- Ambliopía anisométrica.

Los distintos valores de graduación entre los ojos evitan que las imágenes recibidas por ambas retinas tengan el mismo grado de nitidez, lo cual tiene como consecuencia que el ojo más amétrope presente un menor desarrollo de la AV (Martín y Vecilla, 2010) (Ondategui, 1998).

- Ambliopía anisoestrábica o mixta.
Es una combinación de las 2 anteriores.
- Ambliopía ametrópica o isoametrópica.
Se produce por la presencia de una ametropía elevada y bilateral que no ha sido corregida en un periodo relativamente largo de tiempo (Ondategui, 1998).
- Ambliopía por privación.
Este tipo de ambliopía es inducido por la privación a uno o ambos ojos de los estímulos visuales durante un periodo prolongado de tiempo. Por ejemplo, esto puede ocurrir por la presencia de cataratas congénitas, opacidades corneales o ptosis palpebrales (Martín y Vecilla, 2010).

Otra de las principales clasificaciones de la ambliopía es según el grado de AV del ojo afectado. Esta se considera leve cuando la AV es inferior a 0,3 logMAR, moderada cuando está comprendida entre 0,3 y 1 logMAR, y profunda o severa cuando la AV es superior a 1 logMAR (Merchante, 2013).

I. 4. Tratamiento actual de la ambliopía

El plan principal a la hora de realizar el tratamiento de la ambliopía es conseguir que llegue una imagen nítida a la retina de ambos ojos y, posteriormente, promover el uso del ojo ambliope forzando su fijación (Martín y Vecilla, 2010). Para ello, el tratamiento clásico o convencional que se emplea actualmente es la corrección óptica y, más adelante, oclusión y/o penalización del ojo no ambliope (Portela, 2020).

Corrección óptica.

Compensar de forma óptima los errores refractivos (bajo cicloplejia) es fundamental como paso inicial para tratar la ambliopía en niños de 0 a 17 años. Existen estudios que registran una ganancia significativa de la AV tras su aplicación, siendo esta $\geq 0,2$ logMAR en algunos casos (Wallace et al., 2018). Centrándonos en la prescripción, generalmente está indicado corregir de forma completa grandes ametropías bilaterales: hipermetropías $> +5$ dioptrías (D) y astigmatismos $> +2,5$ D. En cuanto a las anisometropías, la prescripción completa está recomendada en diferencias de hipermetropía $> +1,50$ D, de miopía > -3 D y de astigmatismo $> +1,50$ D (Wright, 2006).

✚ Oclusión.

Con el fin de estimular el ojo ambliope, se ocluye el otro ojo mediante un parche. Esto se realiza a todos los niños que no han solucionado su condición solamente con corrección óptica (Wallace et al., 2018).

Esta oclusión se puede realizar a tiempo completo o ser horaria, es decir, emplearse un número determinado de horas al día. La primera se puede instaurar en pacientes estrábicos que no presentan fusión binocular. No obstante, existe el riesgo de desarrollar ambliopía por privación en el ojo ocluido cuando el paciente es menor de 4 o 5 años. Por ello, este no se debe ocluir más de una semana por año que tenga el niño sin examinarse su visión. De este modo, se considera más favorable llevar a cabo una oclusión temporal, ya que no existe ese riesgo y, además, se preserva la fusión (Wright, 2006) (Martín y Vecilla, 2010).

La pauta estándar de oclusión en ambliopías leves es de 2 h/día, mientras que, en ambliopías moderadas y profundas, esta es de 6 h/día como mínimo (Martín y Vecilla, 2010). No obstante, últimos estudios sugieren que en ambliopías moderadas una oclusión de 2 h/día es igual de efectiva (Gail et al., 2015).

✚ Penalización.

Esta terapia se basa en desenfocar la imagen del ojo no ambliope para favorecer el empleo del otro ojo. A grandes rasgos, destacan 2 tipos de penalización: óptica y farmacológica (Martín y Vecilla, 2010).

La penalización farmacológica consiste en instilar atropina al 1% sobre el ojo no ambliope evitando su acomodación. Por otro lado, dentro de la penalización óptica existen 2 modos: prescribir una esfera más positiva de la que corresponde o colocar un filtro Bangerter (traslúcido) sobre la lente del ojo sano (Martín y Vecilla, 2010) (Wallace et al., 2018).

Al igual que la oclusión a tiempo completo, también se puede provocar ambliopía por privación. Así, también es necesario llevar un control frecuente de los pacientes (Martín y Vecilla, 2010).

Recientemente, teniendo en cuenta los problemas de adherencia y resultados subóptimos obtenidos con el tratamiento convencional (Tailor et al., 2016), se han ido desarrollando terapias alternativas:

✚ Terapia visual u ortóptica.

Esta consiste en un conjunto de actividades programadas con el fin de mejorar la AV del ojo ambliope y la binocularidad del paciente (Wallace et al., 2018). Para ello, se trabaja fundamentalmente 4 áreas: control oculomotor y fijación, percepción del espacio, eficacia acomodativa y función binocular (Ondategui, 1998).

✚ Terapia dicóptica.

La terapia dicóptica es un tratamiento binocular que consiste en presentar simultáneamente estímulos diferentes a cada ojo. Esta se basa en la reducción del contraste de las imágenes percibidas por el ojo sano mientras que las del ojo ambliope mantienen un contraste del 100%. Así, se favorece la interacción binocular y se logra vencer la supresión interocular (Bosquet y Piñero, 2019) (Hess et al., 2014). Este tratamiento se puede aplicar mediante videojuegos, películas, realidad virtual, etc. Por tanto, puede ser muy atractivo para los niños.

La realidad virtual, según (Maldonado, 2002), se denomina habitualmente como “aquella tecnología informática que genera entornos tridimensionales con los que el sujeto interactúa en tiempo real, produciéndose de esa manera una sensación de inmersión semejante a la de presencia en el mundo real”. Esta puede tener su origen en 1968 cuando Ivan E. Sutherland crea el primer casco de realidad virtual, también conocido como HMD (del inglés head-mounted display) (Sutherland, 1968).

✚ Acupuntura

La acupuntura consiste en la inserción de agujas metálicas o estimulación calórica en unos puntos específicos del cuerpo del paciente denominados puntos chinos (Sussmann, 2000). Hasta la fecha, solo se ha estudiado su beneficio en la ambliopía anisométrica, desconociéndose su mecanismo de acción en el tratamiento de la ambliopía (Wallace et al., 2018).

✚ Terapia de oclusión intermitente

Como su nombre indica, esta terapia consiste en tapar y destapar el ojo no ambliope en intervalos determinados de tiempo. Esto se consigue gracias al uso de gafas de cristal líquido, las cuales alternan una fase opaca y una transparente (Wallace et al., 2018).

I. 5. Conceptos básicos sobre tecnología informática

Por tecnología informática se entiende todo aquello que posibilita el diseño y construcción de sistemas informáticos. En ellos, se pueden distinguir 2 partes: hardware y software (Segret, 2013).

El hardware, también nombrado como arquitectura, constituye todos los elementos físicos de un sistema informático (unidad central de proceso, subsistema de memoria, subsistema de entrada/salida, etc.), mientras que el software, un conjunto de programas. Por tanto, este último es el responsable de permitir la realización de diversas tareas a los usuarios (Segret, 2013).

A la hora de desarrollar un programa, “conjunto de órdenes ordenadas que la máquina ejecutará para llevar a cabo una tarea determinada”, lo primero que se debe hacer es crear un algoritmo, el cual consiste en una secuencia de pasos que permiten solucionar un problema. En este aspecto, se considera como pionera a Ada Lovelace, conocida como la primera programadora (Segret, 2013).

I. 6. Justificación e interés académico

Como se ha comentado anteriormente, hoy en día la oclusión mediante el parche es una de las técnicas principales para tratar la ambliopía. Es digno de mencionar que, con todos los avances tecnológicos e informáticos que se han dado en los últimos tiempos, sigue siendo el procedimiento creado en 1743 por Buffon la terapia estrella de este problema (Buffon, 1743). Por este motivo, teniendo en cuenta que la ambliopía presenta una prevalencia del 1-5% (Martín y Vecilla, 2010), es necesario indagar acerca de adelantos tecnológicos estudiados en artículos científicos y compararlos con el tratamiento convencional. Además, el uso del parche por parte de los niños puede traer asociado problemas binoculares y psicológicos, que pueden ser evitables si se pudiera emplear otro tipo de tratamiento más adaptado a la época actual.

II. Objetivos

El objetivo principal de esta revisión bibliográfica es mostrar los últimos equipos tecnológicos y programas informáticos empleados en la corrección de la ambliopía en menores de 18 años y analizar sus resultados expuestos en revistas científicas.

Para ello, se pueden destacar los siguientes objetivos secundarios:

1. Describir los equipos tecnológicos y programas informáticos presentes en los estudios.
2. Determinar la eficacia y evidencia científica de cada tratamiento.
3. Comparar los nuevos tratamientos entre sí y con la terapia convencional mediante el parche.

III. Metodología

Para la realización de este trabajo, el cual consiste en una revisión bibliográfica de artículos científicos, se ha comenzado indagando acerca de aspectos generales sobre la ambliopía y la tecnología informática. De esta forma, una vez obtenidos los conocimientos previos, se ha investigado con relación a los equipos tecnológicos y programas informáticos utilizados para la corrección de la ambliopía.

En el apartado de introducción se ha recogido la definición, las características clínicas y el tratamiento actual de la ambliopía, además de los conceptos básicos sobre tecnología informática. Para ello, se han revisado libros del catálogo fama de la Universidad de Sevilla y artículos científicos procedentes de Google Scholar (ambos referidos en la bibliografía).

A la hora de redactar los resultados y discusión, para que la información estuviera avalada científicamente, se emplearon 3 bases de datos: Pubmed, Scopus y Google Scholar. Como criterios de búsqueda se impusieron una fecha de publicación entre 2015 y 2021, y que los ensayos estuvieran disponibles gratuitamente. Las palabras clave utilizadas en cada una de las bases de datos, junto al número de artículos resultantes, quedan recogidas en (Tabla 1).

Palabras clave	Número de artículos		
	Pubmed (P)	Scopus (S)	Google Scholar (G)
Correction of amblyopia	229	90	13
Treatment AND amblyopia	312	362	105
Training AND amblyopia	61	57	12
Therapy AND amblyopia	218	158	32

Tabla 1. Número de artículos obtenidos con cada una de las palabras clave en P, S y G.

De todos los artículos adquiridos, escritos en inglés en su totalidad, se analizó el título y el abstract o resumen para ver si podían ser útiles en este trabajo. En la primera selección, se obtuvieron 45 artículos, los cuales eran estudios experimentales en los que se evaluaba la AV (como mínimo), descartándose otras revisiones bibliográficas o metaanálisis. Ante la gran cantidad de artículos relacionados con el tema se aplicó, como criterio de inclusión, que la edad de los participantes estuviera comprendida entre 0 y 17 años y, como exclusión, que el tratamiento de estudio se realizara en conjunto con el convencional mediante el parche. De esta forma, quedaron 25 artículos, siendo descartados finalmente 6 por ser planes o protocolos de ensayo ($n = 2$), no presentar medidas optométricas (AV, estereopsis, etc) ($n = 1$) o por ser un estudio de seguimiento de uno anterior fechado en 2014 (no apto) ($n = 1$).

De las 19 publicaciones seleccionadas se agruparon las que seguían la misma técnica de tratamiento y, a su vez, las que empleaban el mismo equipo tecnológico o programa informático. Así, se pudo describir tanto el avance tecnológico o informático como los resultados visuales obtenidos con cada uno de ellos a la vez que se comparaba (en algunos casos) con el tratamiento convencional o uno placebo. Gracias a ello, se pudo reunir finalmente el rigor científico y la eficacia de cada técnica, comparándose con la del parche.

IV. Resultados y discusión

En este apartado se va a exponer y analizar la información obtenida de los 19 artículos seleccionados con respecto a los últimos equipos tecnológicos y programas informáticos utilizados para el tratamiento de la ambliopía, detallando su eficacia y rigor científico.

En (Tabla 2) se muestran los artículos estudiados junto al número de participantes, su tratamiento de estudio, y el rango de edad y tipo de ambliopía de los pacientes que intervinieron en los mismos en el orden en el que irán siendo presentados.

Autor y año	Nº de participantes	Tratamiento de estudio	Rango de edad	Tipo de ambliopía
(Holmes et al., 2016)	385	Juego de iPad binocular (Tetris) + corrección óptica	5-12 años	Ambliopía anisométrica, estrábica o mixta
(Hamm et al., 2018)	28	Juego de iPad binocular (Tetris) + corrección óptica	5-14 años	Ambliopía por privación, anisométrica y/o estrábica
(Manh et al., 2018)	100	Juego de iPad binocular (Tetris) + corrección óptica	13-16 años	Ambliopía anisométrica, estrábica o mixta
(Kelly et al., 2016)	28	Juego de iPad binocular (Dig rush) + corrección óptica	4,6-9,5 años	Ambliopía anisométrica, estrábica o mixta
(Holmes et al., 2019)	138	Juego de iPad binocular (Dig rush) + corrección óptica	7-12 años	Ambliopía anisométrica, estrábica o mixta
(Gambacorta et al., 2018)	29	Juego Unreal Tournament (juego de acción dicóptico personalizado para el tratamiento de niños con ambliopía) + corrección óptica	7-17 años	Ambliopía unilateral anisométrica, estrábica o mixta (considerada en el estudio como estrábica también)

Autor y año	Nº de participantes	Tratamiento de estudio	Rango de edad	Tipo de ambliopía
(Herbison et al., 2016)	75	Juegos I-BiT™ + corrección óptica // DVD I-BiT™ + corrección óptica	4-8 años	Ambliopía anisométrica, estrábica o mixta
(Rajavi et al. 2019)	50	Juegos I-BiT™ + corrección óptica	3-10 años	Ambliopía unilateral anisométrica o estrábica
(Li et al., 2015)	8	Películas dicópticas + corrección óptica	4-10 años	Ambliopía anisométrica, estrábica o mixta
(Bossi et al., 2017)	24	Visualización binocular equilibrada (películas dicópticas + juego) + corrección óptica	3,5-11,3 años	Ambliopía anisométrica, estrábica o mixta
(Birch et al., 2019)	27	Películas dicópticas + corrección óptica	4-10 años	Ambliopía anisométrica, estrábica o mixta
(Iwata et al., 2018)	46	Occlu-pad + corrección óptica	3-7 años	Ambliopía anisométrica
(Totsuka et al., 2018)	138	Occlu-pad + corrección óptica	3-9 años	Ambliopía anisométrica o estrábica
(Xiao et al., 2020)	10	Luminopia One + corrección óptica	4-7 años	Ambliopía unilateral moderada anisométrica, estrábica o mixta
(Lee y Kim, 2018)	22	Tratamiento de estimulación de la binocularidad (lámina de Bargenter, juego de realidad virtual o ambos) + corrección óptica	6,7-11,1 años	Ambliopía residual después de más de 6 meses de terapia de oclusión causada por anisometropía y/o estrabismo
(Wang et al., 2016)	45	Gafas Amblyz (terapia de oclusión intermitente) + corrección óptica	3-8 años	Ambliopía unilateral moderada no tratada previamente asociada a estrabismo, anisometropía o ambos
(Wang et al., 2019)	20	Microsensor TheraMon + gafas Amblyz + corrección óptica	3-8 años	Ambliopía unilateral anisométrica, estrábica, mixta o por privación
(Yuan et al., 2021)	40	Alternative Flicker Glass (terapia de oclusión intermitente) + corrección óptica	7-13 años	Ambliopía anisométrica
(Vanzini et al., 2016)	13	Láser Biolite (acupuntura láser) + corrección óptica	3-11 años	Ambliopía anisométrica

Tabla 2. Estudios analizados (número de participantes, tratamiento, edad y tipo de ambliopía).

IV. 1. Terapia dicóptica

A continuación, se mostrarán múltiples modos de llevar a cabo esta terapia mediante equipos tecnológicos y programas informáticos.

IV. 1.1 Juegos de iPad binoculares

IV. 1.1.1 Tetris

La versión dicóptica del juego de caída de bloques, conocido popularmente como Tetris, fue utilizada en los estudios (Holmes et al., 2016), (Hamm et al., 2018) y (Manh et al., 2018) con el fin de tratar la ambliopía.

Para separar las imágenes monoculares, los participantes usaron gafas anaglifas rojo/verde sobre su corrección óptica (si se aplica) y consiguieron jugar al Tetris de forma binocular mediante un iPad. Esto fue posible gracias a que el fondo sobre el que caían los bloques era de color naranja, por lo que, dentro del espacio de color RGB (rojo, verde y azul) de la pantalla LED del iPad, este estaba formado por los colores primarios rojo y verde. La luminancia era la misma para ambos componentes y esta estaba en sintonía con el filtro rojo de las gafas y los bloques rojos, y el filtro y los bloques verdes (Birch et al., 2015). En todos los casos, sobre el ojo ambliope se colocó la lente verde. Así, los elementos rojos fueron vistos por el ojo ambliope y los verdes, por el otro ojo. Además, para facilitar la tarea, se incluyeron bloques marrones que eran vistos por ambos, y Hamm et al. incorporaron estímulos adicionales, como máscaras divertidas, con el fin de conservar el interés por el juego (Figura 1).

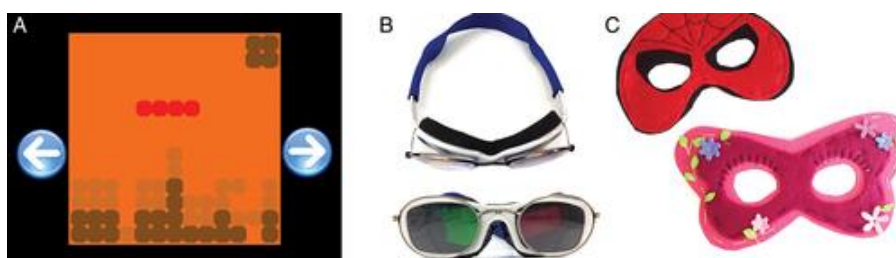


Figura 1. Captura de pantalla del juego Tetris, gafas anaglifas rojo/verde y máscaras infantiles personalizadas (Hamm et al., 2018).

La posición de los bloques que iban apareciendo por la parte superior de la pantalla debía ser modificada por los participantes con el objetivo de colocarlos en los huecos libres que dejaban las piezas instaladas previamente en la parte inferior de la misma. Los primeros se mostraron al ojo ambliope con un contraste total, y los bloques colocados, con un contraste reducido al ojo sano (Tabla 3).

	Ojo ambliope	Ojo sano
(Holmes et al., 2016)	100%	Inicio: 20% Cambio de contraste tras ≥ 30 minutos de juego el día anterior, aumentándose un 10% si se obtuvieron ≥ 1000 puntos o disminuyéndose la misma cantidad en caso contrario
(Hamm et al., 2018)	100%	Aumento del contraste tras jugar al menos 15 minutos al juego y obtener 1000 puntos el día anterior
(Manh et al., 2018)	100%	Inicio: 20% Cambio de contraste tras ≥ 30 minutos de juego el día anterior, aumentándose un 10% si se obtuvieron ≥ 1000 puntos o disminuyéndose la misma cantidad en caso contrario

Tabla 3. Condiciones de contraste (Tetris).

Además, para promover el juego binocular, en los estudios (Hamm et al., 2018) y (Manh et al., 2018) los participantes (antes de comenzar cada sesión de tratamiento) alinearon una cruz Nonius rojo/verde con el fin de ajustar los componentes de la imagen. Así, los pequeños ángulos de desalineamiento ocular fueron compensados (Figura 2).

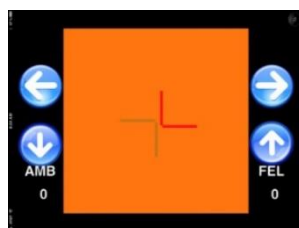


Figura 2. Cruz Nonius (Manh et al., 2018).

La duración del tratamiento y su cumplimiento, los parámetros ópticos medidos, y la AV inicial del ojo ambliope difirieron entre los artículos (Tabla 4).

	Duración del tratamiento	Cumplimiento	Parámetros ópticos medidos	AV inicial del ojo ambliope
(Holmes et al., 2016)	1 h/día durante 16 semanas (112 h)	22% de los asignados al juego binocular realizó $>75\%$	AV y estereopsis	0,3 - 1,0 logMAR
(Hamm et al., 2018)	1 h/día durante 6 semanas (42 h)	En Nueva Zelanda: $0,66 \pm 0,08$ h/día En China: $1,33 \pm 0,14$ h/día	AV, estereopsis, sensibilidad al contraste, percepción del movimiento y umbrales de interferencia de contraste	0,2 - 2,0 logMAR
(Manh et al., 2018)	1 h/día durante 16 semanas (112 h)	13% de los participantes del grupo binocular realizó $>75\%$	AV y estereopsis	0,3 - 1,0 logMAR

Tabla 4. Características de los artículos analizados (Tetris).

Tanto Holmes et al. (2016) como Manh et al. compararon el juego de iPad binocular (Tetris) con el parche (2h/día) como tratamiento de la ambliopía. Tras un análisis postratamiento, Holmes et al. (2016) sugirieron que las 2 horas de parche diario prescrito eran más eficaces que el tratamiento de estudio, ya que se obtuvo que la AV media del ojo ambliope mejoró 0,105 logMAR en el grupo binocular (n = 190) y 0,135 logMAR en el grupo de parcheo (n = 195), asignados aleatoriamente. En cuanto a la estereopsis, se produjo un cambio medio de 0 segundos de arco (") en ambos grupos. Aun así, el pobre cumplimiento del tratamiento binocular y las limitaciones del ensayo (falta de monitores de dosis de oclusión para el parche, inexactitud en el registro de cumplimiento y no supervisión del cumplimiento del uso de las gafas rojo-verdes para jugar) pudieron ser los responsables del peor resultado.

Manh et al., al igual que los anteriores, concluyeron que la terapia dicóptica con Tetris proporcionó una mejora de AV potencialmente peor que con el parche (1h/día). Los pacientes, en este caso, eran adolescentes (13-16 años) y también fueron asignados al azar a un tratamiento u otro. La AV media del ojo ambliope se incrementó con respecto al valor inicial en 0,074 logMAR en el grupo binocular (n = 40) y en 0,126 logMAR en el grupo de parcheo (n = 60). Con respecto a la estereopsis, el cambio medio también fue 0" en ambos grupos. No obstante, no se determinó con claridad si estos resultados desalentadores fueron provocados por el mal cumplimiento del tratamiento o por la falta de efecto del mismo.

Por contraposición, Hamm et al. no estudiaron ningún grupo control, sino que pusieron de manifiesto si este tratamiento novedoso podría ser eficaz en niños con ambliopía por privación. La AV mejoró en el grupo anisométrico/estrábico (n = 10) $0,15 \pm 0,05$ logMAR, pero la sensibilidad al contraste permaneció sin cambios. Por el contrario, los niños con ambliopía por privación (n = 18) tuvieron una mejora de $0,09 \pm 0,03$ logMAR y un beneficio significativo de la sensibilidad al contraste. Dentro de este grupo, los niños con catarata bilateral temprana (n = 7) tuvieron las mayores mejoras, mientras que los niños con catarata unilateral temprana (n = 7) no mejoraron. La estereopsis solo mejoró en 3 niños con catarata unilateral del desarrollo (n = 4) y en 2 con anisometropía. La percepción del movimiento y los umbrales de interferencia de contraste mejoraron en todos los grupos. Así, se llegó a la conclusión de que, aunque para aquellos niños con cataratas unilaterales tempranas existe la posibilidad de que este tratamiento no sea suficiente y se tenga que valorar otras alternativas o terapias complementarias, el Tetris podría ser eficaz para tratar a niños con ambliopía por privación y, por tanto, se debe seguir investigando sobre ello.

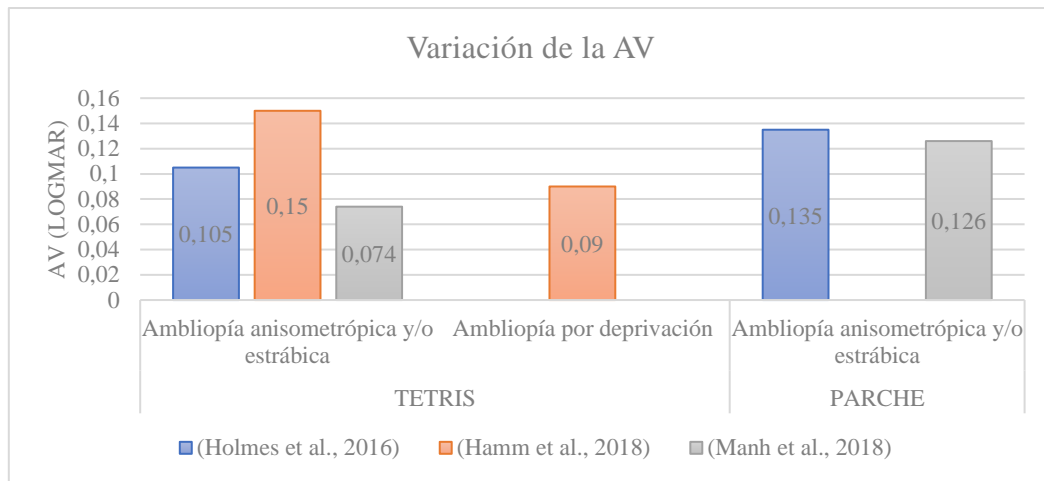


Figura 3. Mejora de AV (Tetris y parche).

IV. 1.1.2 Dig Rush

Dig Rush es un juego de aventuras y acción, desarrollado por Robert Hess (doctor de la universidad McGill), Amblyotech y UbiSoft. Este presenta 42 niveles y consiste en cavar en busca de oro para, posteriormente, transportarlo a una carretilla. Al mismo tiempo, se debe controlar el entorno y evitar obstáculos como fuego, lava y monstruos. El niño puede conseguir hasta un máximo de 126 estrellas con el éxito de los niveles, permitiendo cada nivel una bonificación máxima de 3 estrellas. Además, con el oro se pueden obtener mejoras en el juego como aumentar el número de mineros, la velocidad de excavación, la cantidad de oro transportada, etc. (Kelly et al., 2016) (Holmes et al., 2019).

En los estudios (Kelly et al., 2016) y (Holmes et al., 2019) se evaluó la efectividad de emplear este juego dicóptico para tratar la ambliopía en niños. Con el propósito de separar las imágenes presentadas a cada ojo los niños llevaron gafas anaglifas rojo/verde durante la terapia. Al ojo ambliope se mostraron los elementos rojos de alto contraste (mineros y bola de fuego) y al otro ojo, los elementos azules de bajo contraste (oro y carretilla). Además, las rocas y el suelo (elementos grises de alto contraste) pudieron ser vistos por ambos ojos. Así, los pacientes solo conseguirían pasar los niveles con éxito si ambos ojos trabajaban simultáneamente (Figura 4).



Figura 4. Captura de pantalla del juego Dig Rush (Kelly et al., 2016).

El contraste del ojo ambliope se mantuvo siempre al 100%, mientras que el contraste del otro ojo comenzó en un 20% (Tabla 5).

	Ojo ambliope	Ojo sano
(Kelly et al., 2016)	100%	Inicio: 20% Aumento con el éxito del juego (1 estrella obtenida). Si el juego no tuvo éxito durante 30 minutos (no se ganó ninguna estrella), se redujo el contraste.
(Holmes et al., 2019)	100%	Inicio: 20% Cambio de contraste tras ≥ 15 minutos de juego el día anterior, aumentándose en pasos de 10% con el éxito del juego o disminuyéndose en pasos de 5% en caso contrario.

Tabla 5. Condiciones de contraste (Dig Rush).

Para su posterior análisis es necesario mostrar las diferencias con respecto a la duración del tratamiento y su cumplimiento, los parámetros ópticos medidos, y la AV inicial del ojo ambliope de cada artículo (Tabla 6).

	Duración del tratamiento	Cumplimiento	Parámetros ópticos medidos	AV inicial del ojo ambliope
(Kelly et al., 2016)	1 h/día, 5 días/semana durante 2-4 semanas (10-20 h)	El 85% (23 de 27) de los niños jugaron al menos el 75%	AV, estereopsis y escotoma de supresión	0,3 - 0,8 logMAR
(Holmes et al., 2019)	1 h/día, 5 días/semana durante 8 semanas (40 h)	El 75% (padres) o 56% (archivos de registro) del grupo binocular jugaron a juegos $>75\%$ y el 90% usó gafas durante $>75\%$. El 98% del grupo control usó gafas $>75\%$	AV y estereopsis	0,3 - 0,89 logMAR

Tabla 6. Características de los artículos analizados (Dig Rush).

Mientras que Holmes et al. (2019) compararon la mejora de AV en niños ambliopes tratados con el juego Dig Rush y corrección óptica continua frente a corrección óptica continua únicamente, Kelly et al. contrapusieron el tratamiento mediante el juego Dig Rush con el del parche. En ambos, la asignación de los participantes a cada grupo se realizó al azar.

En (Holmes et al., 2019), los niños del grupo control ($n = 69$), después de las 8 semanas de tratamiento óptico, también jugaron al juego dicóptico el mismo tiempo que el grupo binocular ($n = 69$). De esta forma, a las 8 semanas, el grupo control presentó una mejora media de AV de 0,064 logMAR y a las 16 semanas, de 0,008 logMAR. Con respecto al grupo binocular, la mejora media a las 8 semanas fue de 0,048 logMAR. La estereopsis permaneció inmutable en ambos

grupos. Por tanto, teniendo en cuenta que el 96% de los niños del estudio se sometieron a tratamiento previo distinto a corrección óptica (parcheo, atropina y/u otros), se estableció que no hubo beneficio aparente de AV o estereopsis al emplear el juego binocular Dig Rush como tratamiento posterior a otro distinto realizado con anterioridad.

Sin embargo, en el estudio realizado por Kelly et al., el 71% de los participantes también habían sido tratados previamente y las mejoras con el tratamiento binocular fueron mayores que con el parche. A las 2 semanas, la mejora media de AV en el grupo binocular ($n = 14$) fue de 0,15 logMAR, mientras que en el grupo control ($n = 14$) fue de 0,07 logMAR. Además, no se observaron cambios en la estereopsis ni en la extensión del escotoma de supresión. No obstante, la profundidad de la supresión mejoró con respecto al valor inicial, pasando en el grupo binocular de una relación de contraste mínima (contraste del ojo ambliope dividido por el del ojo sano) de 4,82 a 3,24 y en el del parche, de 4,77 a 2,57. Después de esas 2 semanas, el grupo control pasó a ser tratado con el juego binocular, estableciéndose una mejora media de 0,17 logMAR en el grupo binocular y de 0,16 logMAR en el grupo del parche cruzado. En definitiva, se consideró que el juego binocular Dig Rush, el cual supera la supresión mediante el reequilibrio del contraste, era un tratamiento prometedor para tratar la ambliopía.

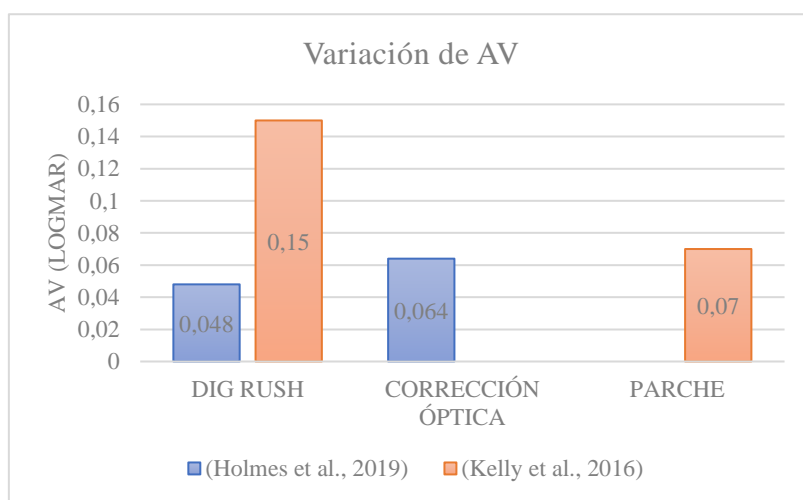


Figura 5. Mejora de AV (Dig Rush, corrección óptica y parche).

IV. 1.2 Unreal Tournament

El juego comercial, conocido como Unreal Tournament, es un videojuego de acción en 1ª persona desarrollado por Epic Games en 2004 (Jacobs et al., 2005). En el estudio (Gambacorta et al., 2018), los participantes jugaron a una versión dicóptica y sin elementos violentos del mismo, manteniéndose su interés y motivación. Para ello, se empleó una pantalla con 1024 x 768 píxeles de resolución, corrección gamma y 60 Hz de frecuencia de actualización (Mitsubishi Diamond Pro 2070 SB).



Figura 6. Capturas de pantalla de la versión dicóptica e infantil de Unreal Tournament (Gambacorta et al., 2018).

El juego se presentó mediante imágenes separadas, permitiéndose un control independiente en cada ojo (luminancia y contraste). La composición alfa, la cual indica la transparencia de un píxel, se usó para equilibrar la intensidad de la imagen percibida por el ojo no ambliope y el otro al comienzo de cada sesión, con el fin de reducir la supresión y facilitar la fusión.

Con el mismo objetivo, se sumó al juego una tarea de aprendizaje perceptual. Esta consistió en presentar imágenes giradas, llamadas parches de Gabor, solo al ojo ambliope (Verdamurthy et al., 2015). Entonces, se les preguntaba a los pacientes qué orientación tenía la imagen mientras la marcaban, y cuál presentaba al ignorarla o pulsar la letra “E”. A lo largo de las sesiones, se intentó mantener un 79% de acierto en sus respuestas, adaptándose la frecuencia del parche de Gabor para ello (Levitt, 1971). Así, se pudo controlar la supresión y el límite de resolución del ojo ambliope, comprobándose su participación en el juego.

Además, al comienzo de cada sesión, se realizó la alineación horizontal y vertical de las líneas dicópticas Nonius mediante el ajuste de los espejos del estereoscopio (Figura 7). Cuando estas estaban alineadas (fusión), la imagen era una cruz con un cuadrado central, rodeado por 4 cuadrados adicionales y un borde de alto contraste que era visible por ambos ojos. Después de iniciar el juego, se volvió a confirmar que ambas imágenes fueran visibles.

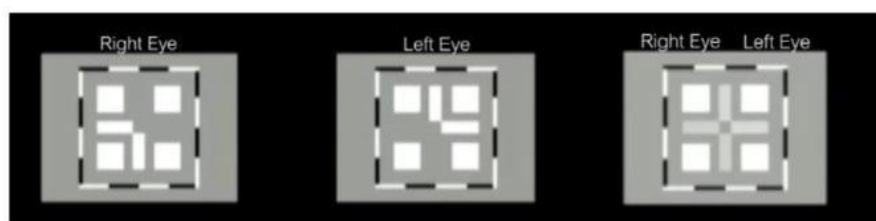


Figura 7. Alineación dicóptica (Gambacorta et al., 2018).

En resumen, durante el juego, cada ojo recibió la misma imagen (excepto por los parches de Gabor y parte del telescopio de fijación), pero la del ojo no ambliope presentó un contraste reducido. De esta forma, se trató de favorecer la fusión binocular.

De los 29 sujetos inscritos en el ensayo, se asignaron al azar 13 niños al juego dicóptico hecho a medida y los 16 restantes al mismo, pero de forma monocular durante un total de 20 h en sesiones de 1 h aproximadamente, 1-3 veces por semana. La AV inicial del ojo ambliope estaba comprendida entre 0,2-1,04 logMAR y se evaluaron la AV, la estereopsis y la velocidad de lectura. Además, en 12 de los participantes se realizaron evaluaciones de seguimiento entre 6 y 10 semanas después del entrenamiento.

Teniendo en cuenta que el 72% de los pacientes completaron las 20 h de tratamiento, el grupo dicóptico mejoró, con respecto a la AV inicial, $0,14 \pm 0,02$ logMAR después de 20 h, mientras que el grupo monocular mejoró $0,06 \pm 0,03$ logMAR. En cuanto a la estereopsis, esta mejoró en el grupo dicóptico $0,07 \pm 0,11$ log arcsec después de 20 h, mientras que el otro grupo mejoró $0,06 \pm 0,1$ log arcsec. En general, los niños mejoraron su velocidad lectora y las mejoras de AV y estereopsis se mantuvieron. Así, se pudo afirmar que el videojuego de acción puede ser un tratamiento complementario y eficaz para la ambliopía en niños, logrando resultados similares que los tratamientos de referencia en menor tiempo de duración. No obstante, se obtuvieron mejores resultados con aquellos niños que presentaban ambliopía anisométrica que con aquellos que tenían estrabismo.

IV. 1.3 Sistema I-BiT™

Los estudios (Herbison et al., 2016) y (Rajavi et al., 2019) llevaron a cabo un tratamiento binocular interactivo, también llamado sistema I-BiT™, como terapia de la ambliopía en niños.

En (Rajavi et al., 2019), el tratamiento consistía en jugar a juegos I-BiT™. En todos ellos cada imagen quedó dividida en dos, siendo expuesta cada una simultáneamente a un ojo distinto con una pequeña disparidad retiniana. De este modo, la información recibida por cada ojo era prácticamente idéntica, exceptuando que al ojo ambliope le mostraron estímulos finos y móviles, mientras que al otro ojo, fijos o el fondo de la proyección. Además, el sistema I-BiT™ permitió ajustar la iluminación y el contraste de la imagen en función de la AV del paciente. Todo esto se consiguió gracias al uso de gafas rojo/verde por parte de los participantes mientras jugaban a esos juegos.

Por otro lado, en (Herbison et al., 2016), además de juegos, también se exhibieron secuencias de vídeo mediante el sistema I-BiT™. En cuanto al estímulo de DVD, ambos ojos veían el borde

externo de la pantalla, mientras que la parte interna fue vista fundamentalmente por el ojo ambliope. Con respecto al juego interactivo, se seleccionó “Nux”, donde el jugador y el fondo se presentaron a ambos ojos, pero los obstáculos, enemigos y monedas, solo al ojo ambliope.

Mientras que Rajavi et al. diseñaron su estudio para que el paciente recibiera la terapia en el hogar, Herbison et al. utilizaron un hardware con el propósito de controlar el tratamiento del paciente en el hospital. Para ello, el médico tenía una pantalla del ordenador de sobremesa y el paciente poseía otra donde aparecían los estímulos visuales. Esta última era un monitor 3D de pantalla plana de 22 pulgadas con una frecuencia de actualización de 120 Hz. De esta forma, mediante gafas obturadoras pudieron mostrarse a cada ojo imágenes distintas, ya que las lentes se aclaraban y oscurecían al mismo tiempo que la pantalla, a una velocidad mayor de la que puede percibir el ser humano. Así, ambos ojos visualizaron un fondo común y el ojo ambliope, una imagen de mayor contraste.

De esta forma, aunque ambos ensayos emplearan el sistema I-BiT™ como tratamiento de la ambliopía, presentaron importantes diferencias (Tabla 7).

	Duración del tratamiento	Cumplimiento	Parámetros ópticos medidos	AV inicial del ojo ambliope
(Herbison et al., 2016)	30 min/semana durante 6 semanas (3 h)	> 90%	AV y estereopsis	0,35 - 0,65 logMAR
(Rajavi et al., 2019)	20-30 min/día durante al menos 5 días a la semana a lo largo de 1 mes (6,7-10 h)	87,5%	AV y estereopsis	0,1 - 1,0 logMAR

Tabla 7. Características de los artículos analizados (Sistema I-BiT™).

Los participantes del estudio (Herbison et al., 2016) fueron asignados al azar a uno de estos 3 tratamientos: juego I-BiT™ (n = 26), juego no I-BiT™ (n = 25) o DVD I-BiT™ (n = 24). En la semana 6 no hubo diferencias significativas entre la mejora de AV del grupo DVD I-BiT™ (0,1 logMAR) comparada con la del grupo de juego I-BiT™ (0,6 logMAR) y la del grupo de juego no I-BiT™ (0,3 logMAR). Como dato secundario, se valoró la estereopsis y no hubo mejoras significativas en ninguno de los 3 grupos. De esta forma, aunque no hubo grandes diferencias, se recalcó que la duración del tratamiento fue corta y que existió una alta proporción de ambliopía previamente tratada y ambliopía estrábica que pudo perjudicar a los resultados obtenidos.

En cambio, al comparar Rajavi et al. la eficacia del sistema I-BiT™ con la del parche no obtuvieron diferencias significativas. Los pacientes se dividieron aleatoriamente en el grupo I-BiT™ (n = 19) y en el grupo control (n = 19). Estos últimos usaron el parche 2h/día en el caso de sufrir ambliopía

leve y 4 h/día en el caso de presentar ambliopía moderada, además de jugar a juegos I-BiT™ sin gafas rojo/verde. En el grupo I-BiT™ se produjo un cambio de AV de $0,08 \pm 0,09$ y en el grupo control, de $0,09 \pm 0,09$. La estereopsis también mejoró en ambos grupos, pero no hubo diferencias significativas. No obstante, se consideró necesario seguir investigando acerca del tema en ensayos clínicos aleatorizados con un número de pacientes y una duración mayores, además de valorarse si se produce recaída de la AV con el tiempo.

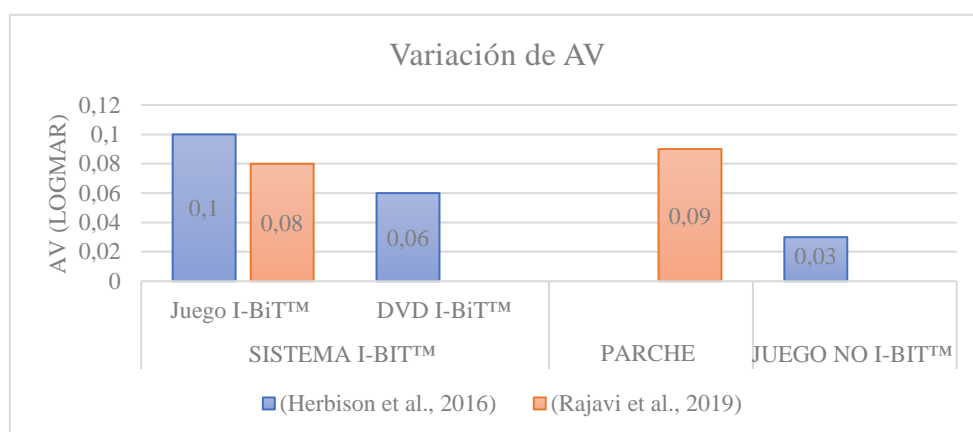


Figura 8. Mejora de AV (Sistema I-BiT™, parche y juego no I-BiT™).

IV. 1.4 Películas

Desde su comienzo, las películas han tenido una gran evolución y, aunque generalmente tienen interés como entretenimiento, recientemente se ha investigado su utilidad como tratamiento para la ambliopía. Dentro de este aspecto, Li et al., Bossi et al. y Birch et al. evaluaron la eficacia de usar películas dicópticas como terapia de la ambliopía.

Tanto en el estudio (Li et al., 2015) como en (Birch et al., 2019) se crearon versiones dicópticas de 18 películas de animación populares (Figura 9). Estas se presentaron en una pantalla 3D pasiva (LG Electronics USA, Inc) mientras los niños usaban gafas polarizadas sobre su corrección óptica. De esta forma, algunas partes de la imagen solo fueron vistas por un ojo; otras, solo por el otro; y algunas, por ambos. Así, era necesario recopilar la información visual de los dos ojos para poder apreciar las películas por completo.



Figura 9. Visualización de la película por cada ojo (Li et al., 2015).

La imagen de alto contraste (100%) se presentó al ojo ambliope y la imagen de contraste reducido al otro ojo. Además, Birch et al. sumaron la imagen enmascarada con manchas dispuestas irregularmente a las imágenes vistas por el ojo ambliope, y la imagen enmascarada inversa a las del otro ojo. Todo esto que también tuvo lugar en (Li et al., 2015) se realizó gracias a un programa MatLab personalizado. Las manchas sufrieron cambios tanto en forma como ubicación cada 10 segundos de forma dinámica.

En cambio, en (Bossi et al., 2017), para manejar por separado cada una de las imágenes mostradas a cada ojo, se utilizaron gafas obturadoras. Estas permitían el acoplamiento de la corrección óptica de los pacientes al montarse en un pasamontañas personalizado para niños. Además, se empleó un sistema informático capaz de mostrar películas en 3D, las cuales fueron visualizadas mediante la utilización de un software escrito en Matlab y Psychtoolbox.

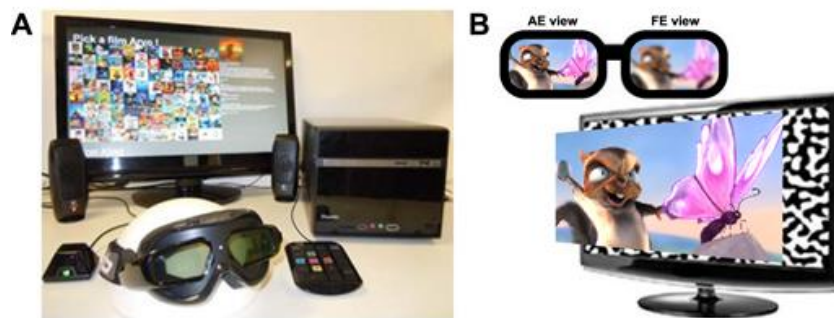


Figura 10. Sistema de tratamiento y visión del niño a través de cada ojo (Bossi et al., 2017).

De este modo, para llevar a cabo la terapia, Bossi et al. utilizaron un ordenador personal, una pantalla con capacidad 3D, un teclado de respuesta, un emisor de infrarrojos y unas gafas con obturador montadas en un pasamontañas personalizado para niños. Con el objetivo de igualar la AV entre ambos ojos, se proporcionó una imagen desenfocada al ojo no ambliope y, con respecto a la profundidad percibida de la proyección, esta se ajustó gracias a un cambio relativo de la imagen de cada ojo a pesar de que las películas se reprodujeron en 2D (Figura 10).

Además de las diferencias previamente comentadas, se pueden observar otras con respecto al tratamiento, su cumplimiento y el lugar de aplicación, los parámetros ópticos medidos, y la AV inicial del ojo ambliope de cada artículo (Tabla 8).

	Duración del tratamiento	Cumplimiento	Parámetros ópticos medidos	AV inicial del ojo ambliope
(Li et al., 2015)	3 películas/semana durante 2 semanas (9 h)	100% (clínica)	AV, estereopsis y supresión interocular	0,5 - 1,2 logMAR
(Bossi et al., 2017)	1 h/día durante 4 u 8 semanas (28 o 56 h)	89,4% ± 24,2% de la dosis diaria y el 68,23% ± 12,2% de los días prescritos (hogar)	AV, estereopsis, motilidad ocular, alineación ocular y supresión	0,28 - 1,2 logMAR
(Birch et al., 2019)	3 películas/semana durante 2 semanas (9 h)	100% (clínica)	AV, estereopsis y supresión interocular	0,3 - 1,3 logMAR

Tabla 8. Características de los artículos analizados (Películas).

En cuanto a la AV del ojo ambliope, esta mejoró en todos los estudios. Li et al. consiguieron una mejora media de 0,2 logMAR; Bossi et al., de $0,27 \pm 0,22$ logMAR; y Birch et al., de $0,15 \pm 0,10$ logMAR. Sin embargo, solo 6 de los 7 niños con ambliopía anisométrica que participaron en el ensayo de (Bossi et al., 2017) lograron una mejora significativa de la estereopsis.

Con respecto a la supresión interocular, hubo discrepancias entre los artículos. Mientras que Birch et al. obtuvieron que la gravedad de la supresión mejoró significativamente y esta se correlacionó con la mejora de AV, Li et al. recogieron que no hubo una reducción significativa en la misma, y Bossi et al. afirmaron que la ganancia de AV no se correlacionó con una reducción en la supresión.

Birch et al. afirmaron que la mejora de AV empleando juegos binoculares durante 2 semanas o parche durante 3-4 meses fue semejante al observado con películas dicópticas. No obstante, como no se han realizado ensayos clínicos controlados ni se ha comparado este tratamiento con otros como el parche, a pesar de la mejora de AV aparente y de su buen cumplimiento, el poco tiempo de aplicación y la falta de seguimiento postratamiento hace que sea necesario una mayor investigación.

IV. 1.5 Occlu-pad

El Occlu-pad es una tablet a la que se le ha extraído la capa de película polarizadora de la pantalla de cristal líquido. Este procedimiento se conoce como tecnología de pantalla blanca y solo permite observar el contenido del Occlu-pad cuando se usan las gafas polarizadas. De esta manera, es capaz de mostrar imágenes distintas a un ojo y otro bajo condiciones binoculares en función de si la película desprendida es colocada en una lente u otra de la gafa. (Iwata et al., 2018) (Totsuka et al., 2018). Por ejemplo, si la lente del ojo izquierdo porta la película, la imagen proyectada por el dispositivo solo sería visible por ese ojo (Figura 11).

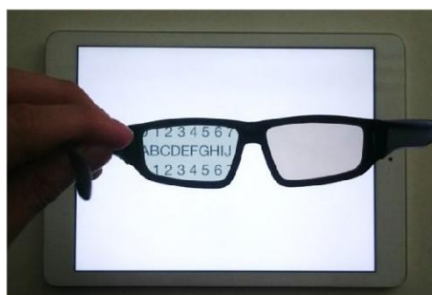


Figura 11. Apariencia del Occlu-pad (Iwata et al., 2018).

Tanto en (Iwata et al., 2018) como en (Totsuka et al., 2018) emplearon este instrumento como tratamiento de la ambliopía. En todos los casos, las imágenes se mostraron únicamente al ojo ambliope. Para ello, la película polarizada se instauró en la lente del ojo ambliope mientras que la lente del otro ojo presentó una película protectora de la luz. Esta última consiguió igualar el tono de las lentes para que no hubiera diferencias de color entre las mismas.

Durante el entrenamiento con el Occlu-pad, los pacientes de ambos estudios también entrenaron la coordinación ojo-mano, ya que los juegos empleados la requerían. No obstante, a pesar de su similitud, es necesario resaltar ciertas diferencias fundamentales entre los artículos (Tabla 9).

	Duración del tratamiento	Cumplimiento	Parámetros ópticos medidos	AV inicial del ojo ambliope
(Iwata et al., 2018)	30 min/día, 2 días a la semana durante 6 meses (26 h)	88,4 ± 18,7% y 69,6 ± 19,5% a los 3 y 6 meses, respectivamente	AV	≥ 0,1 logMAR
(Totsuka et al., 2018)	1 h/día durante 12 meses (365 h)	Entre 68% y 72% durante 6 meses	AV	0,15 - 1,3 logMAR

Tabla 9. Características de los artículos analizados (Occlu-pad).

Iwata et al. evaluaron la eficacia del dispositivo Occlu-pad utilizando simultáneamente corrección óptica completa bajo cicloplejia y lo compararon con el tratamiento óptico únicamente. En el grupo de tratamiento con Occlu-pad (n = 23) se obtuvo una mejora media de AV de 0,3 logMAR, mientras que en el grupo de tratamiento óptico (n = 23) la mejora fue de 0,19 logMAR. Así, se determinó que el tratamiento con el dispositivo Occlu-pad en combinación con corrección óptica dio lugar a un mejor resultado que el tratamiento óptico exclusivamente.

Una de las limitaciones del ensayo (Iwata et al., 2018) fue que no se comparó el tratamiento mediante Occlu-pad con la terapia de oclusión a través de parches. Sin embargo, esto fue llevado a cabo por Totsuka et al., consiguiéndose una mayor mejora de AV y adherencia con el tratamiento de estudio que con el uso de parches. Además, en (Iwata et al., 2018) solo se trataron

niños con ambliopía anisométrica, mientras que Totsuka et al. incluyeron también a pacientes estrábicos.

Sin embargo, Totsuka et al. no aleatorizaron a sus pacientes, siendo 72 sometidos al entrenamiento mediante Occlu-pad y 66 al tratamiento con parche durante 3 h/día. Con respecto a los niños con ambliopía anisométrica, la AV de los grupos Occlu-pad y de parcheo mejoró de media 0,69 logMAR y 0,47 logMAR después de 6 meses, respectivamente. En cuanto a los niños con ambliopía estrábica, la AV de los grupos Occlu-pad y de parcheo mejoró 0,59 logMAR y 0,38 logMAR después de 9 meses, respectivamente.

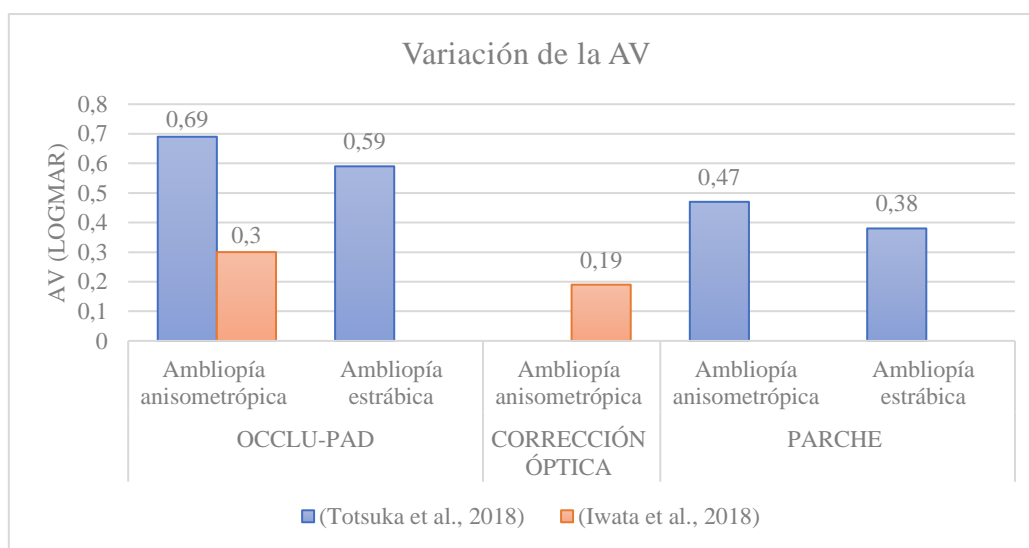


Figura 12. Mejora de AV (Occlu-pad, corrección óptica y parche).

IV. 1.6 Realidad virtual

IV. 1.6.1 Luminopia One

Luminopia One es una terapia digital innovadora que consiste en mostrar el contenido cinematográfico seleccionado por el paciente de forma dicóptica en un casco de realidad virtual (Xiao et al., 2020). En concreto, esta terapia se llevó a cabo en (Xiao et al., 2020) y dicho casco se diseñó y fabricó especialmente para niños de 4 a 7 años, incluyendo un par de lentes de visualización para la presentación dicóptica, un sistema de correa para que el casco quedara fijo en la cabeza del paciente y una unidad de visualización (teléfono LG G5) para mostrar la información visual mientras las gafas de los niños encajaban en él. Una aplicación de software preinstalada en el teléfono ejecutó algoritmos computacionales que modificaron el contenido original en información visual terapéutica, la cual requería conexión a internet. El cumplimiento de la terapia de cada paciente se guardó automáticamente mediante un panel de control clínico.

En (Figura 13) se puede observar el esquema conceptual de los cascos personalizados (a), el diagrama de arquitectura de software (b), el esquema de la información visual presentada a cada ojo (c) y un ejemplo de registro del uso diario del dispositivo por un paciente (en minutos) en el panel de control clínico (d).

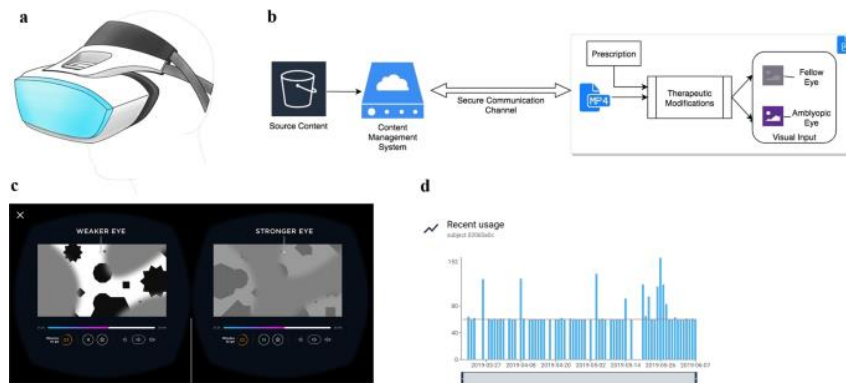


Figura 13. Luminopia One (Xiao et al. 2020).

El hecho de que se empleara un casco de realidad virtual permitió presentar diferentes canales de contenido procesado computacionalmente al ojo ambliope y al otro ojo, además de que el tratamiento se realizara de forma autónoma, autosuficiente y que fuera portátil. De este modo, los 10 niños de 4 a 7 años inscritos en el estudio pudieron realizar la terapia en el hogar durante 1 h al día a lo largo de 12 semanas (365 h). Estos presentaron ambliopía unilateral moderada (0,3-1,0 logMAR) asociada con estrabismo, anisometropía o ambos y la AV del ojo ambliope se evaluó desde el inicio hasta el final del tratamiento, alcanzándose una mejora media de 0,29 logMAR. Además, 6 de los 10 participantes del ensayo tuvieron una resolución de su ambliopía de manera que la diferencia interocular final fue $<0,3$ logMAR. En cuanto a la adherencia, la media obtenida durante los 12 meses de tratamiento fue de $78\% \pm 27\%$. Así, se determinó que, aunque la terapia Luminopia One se haya diseñado y desarrollado con éxito en este estudio, se debe realizar un ensayo controlado aleatorio que compare dicho tratamiento con otros como la corrección óptica o el parche con el fin de evaluar más a fondo su eficacia y seguridad.

IV. 1.6.2 Ice Cream Truck

Ice Cream Truck es un juego que consiste en lanzar helados a los niños que corren detrás del camión mediante el uso de un HMD. Gracias al método de desenfoque gaussiano de 16 niveles y a la presentación del juego en una pantalla dividida, cada ojo puede recibir la misma imagen en 3D, pero con un contraste e intensidad distintos. La imagen con mayor contraste e intensidad se muestra al ojo ambliope y la de menor, al ojo sano (Lee y Kim, 2018) (Figura 14).



Figura 14. Ice Cream Truck (Lee y Kim, 2018).

La eficacia de este juego, además de la de otros tratamientos estimulantes de la binocularidad, se estimó en (Lee y Kim, 2018) mediante la evaluación de la AV. En este ensayo participaron 22 niños de 6,7 a 11,1 años que habían sido sometidos a una terapia de oclusión durante más de 6 meses, pero que aún presentaban una ambliopía residual de entre 0,2-1,8 logMAR. Estos llevaron a cabo un tratamiento de estimulación de la binocularidad, de los 3 presentes en el estudio: lámina de Bangerter (BF, grupo 1; n = 10), juego de realidad virtual Ice Cream Truck (HMD, grupo 2; n = 7) y una combinación de ambos (BF + HMD, grupo 3; n = 5).

La duración de la terapia difirió entre los grupos, aplicándose en el grupo 1 durante 6h/día (365 h) y en los demás durante 30 min/día (30 h) a lo largo de al menos 2 meses. Además, esta también varió entre los participantes, obteniéndose una duración media del tratamiento de $4,4 \pm 1,8$ meses. No obstante, el cumplimiento fue favorable en todos los pacientes. Con respecto a la AV, en el grupo 1 se observó una pérdida de 0,02 logMAR mientras que, los niños de los grupos 2 y 3, ganaron 0,13 logMAR y 0,04 logMAR, respectivamente. En (Figura 15) se muestra la proporción de niños que ganaron más de 0,2 logMAR en cada uno de los grupos.

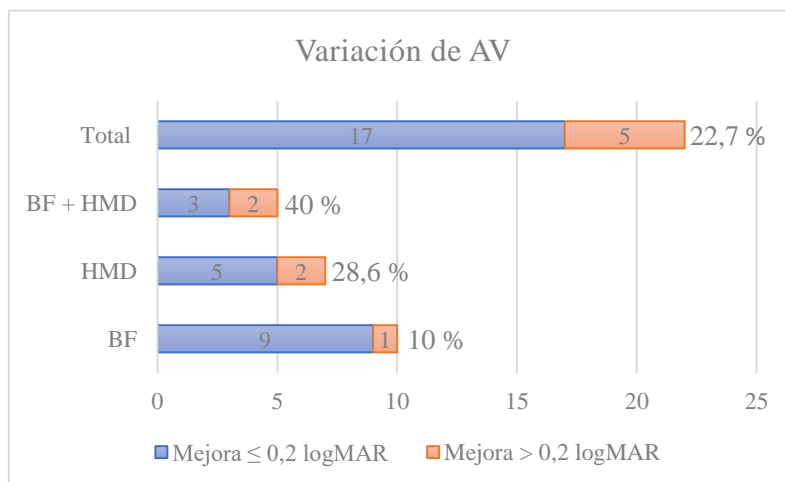


Figura 15. Mejora de AV (BF + HMD, HMD y BF).

Por todo lo anterior, se estableció que con estos tratamientos los niños con ambliopía residual obtenían cierto beneficio, por lo que en estos casos se tendrían que considerar como una opción las terapias de estimulación de la binocularidad.

IV. 2. Terapia de oclusión intermitente

IV. 2.1 Gafas Amblyz™

Las gafas Amblyz™ son unas gafas de cristal líquido, desarrolladas por XPAND 3D, que llevan a cabo una terapia de oclusión intermitente alternando una fase opaca y transparente cada 30 segundos para proporcionar una oclusión eficaz durante el 50% del tiempo que se usan sobre el ojo no ambliope (Wang et al., 2016) (Wang et al., 2019).

Para ello, estas gafas llevan incorporado un obturador electrónico, el cual consta de un gel con grandes moléculas orgánicas suspendidas en él que muestran una polaridad eléctrica. Cuando se aplica un voltaje eléctrico, el obturador se acciona y se produce un cambio en la orientación espacial de las moléculas suspendidas girándose la polaridad de la luz, resultando el estado opaco de la lente. Cuando no se aplica voltaje, la lente permanece en la fase transparente (Spierer et al., 2010). Estas gafas son recargables y se pueden usar durante varios días después de cada carga. Para que no interfiera con la terapia, esta se puede realizar durante la noche. Además, en el caso de que los pacientes necesiten llevar su corrección óptica, es posible acoplarla a las gafas Amblyz™ gracias a que estas llevan integrada una montura de soporte a presión, mostrada en (Figura 16) de color rojo oscuro (Wang et al., 2016).



Figura 16. Gafas Amblyz™ (Wang et al., 2016).

Como apoyo a este instrumento, la gafas Amblyz™ fueron aprobadas por la FDA en 2014, garantizándose su seguridad. No obstante, estas no se certificaron como una terapia específica para la ambliopía (Wang et al., 2016). Por ello, con el fin de evidenciar la eficacia de este dispositivo para el tratamiento de la ambliopía, Wang et al. (2016) compararon la terapia de oclusión intermitente mediante las gafas Amblyz™ frente a la terapia de oclusión continua usando parches adhesivos tradicionales.

Al estudio se incluyeron 45 niños con ambliopía unilateral moderada (0,3-0,7 logMAR), los cuales fueron asignados al azar al grupo de terapia de oclusión intermitente (n = 27) o al grupo de parcheo (n = 18). El primero empleó las gafas de cristal líquido (oclusión del 50%) durante 4 h/día a lo largo de 12 semanas (168 h de oclusión) y el segundo, el parche adhesivo durante 2 h/día (oclusión del 100%) a lo largo de 12 semanas (168 h). En ambos casos, la oclusión se llevó a cabo en el ojo no ambliope. Tras las 12 semanas, la mejora de la AV del ojo ambliope fue de $0,15 \pm 0,12$ logMAR en el grupo de terapia de oclusión intermitente y de $0,15 \pm 0,11$ logMAR en el grupo de parcheo. De esta forma, se sugirió que la terapia de oclusión intermitente con gafas de cristal líquido Amblyz™ era una alternativa prometedora de tratamiento para la ambliopía, ya que, aunque se necesita estudiar una muestra mayor que confirme estos resultados en un ensayo clínico aleatorizado, el beneficio visual obtenido con estas gafas fue similar al del parche adhesivo.

Para monitorizar el cumplimiento de la terapia con gafas Amblyz™, Wang et al. (2019) investigaron la viabilidad de utilizar el microsensor TheraMon (Figura 17). Este era económico (disponible comercialmente), sus medidas eran 9x13 mm, estaba encapsulado en poliuretano y era impermeable. Además, no causaba irritación en la piel ni conllevaba ningún riesgo significativo y la opción de un software predeterminado permitió su uso externo.



Figura 17. Gafas Amblyz™ con microsensor TheraMon (Wang et al., 2019).

Para recoger el cumplimiento de los pacientes, el microsensor registraba su temperatura corporal en intervalos de 15 minutos. Esto se consiguió al entrar este en contacto directo con la piel del niño. Todos los participantes presentaron la misma temperatura umbral de 82°-96 °F (27,78°-35,56 °C) y generalmente, esta aumentaba cuando se usaba por primera vez el dispositivo y disminuía de manera abrupta cuando se retiraba. Así, se estableció el momento de inicio y finalización de la terapia, considerándose el tiempo intermedio como tiempo de uso de las gafas Amblyz™.

Finalmente, se determinó que el cumplimiento objetivo de las gafas de terapia de oclusión intermitente puede ser monitorizado de forma fiable mediante el microsensor TheraMon. En promedio, la AV de los pacientes mejoró $0,14 \pm 0,15$ logMAR y como limitaciones se destacó

que el microsensor registraba el cumplimiento cada 15 minutos, pudiendo el mismo ser subestimado, y que este perdía precisión si la temperatura circundante estaba entre 33 y 37°C. En cuanto al cumplimiento de las gafas durante 4 semanas, este fue del 51,6% y disminuyó ligeramente con el tiempo.

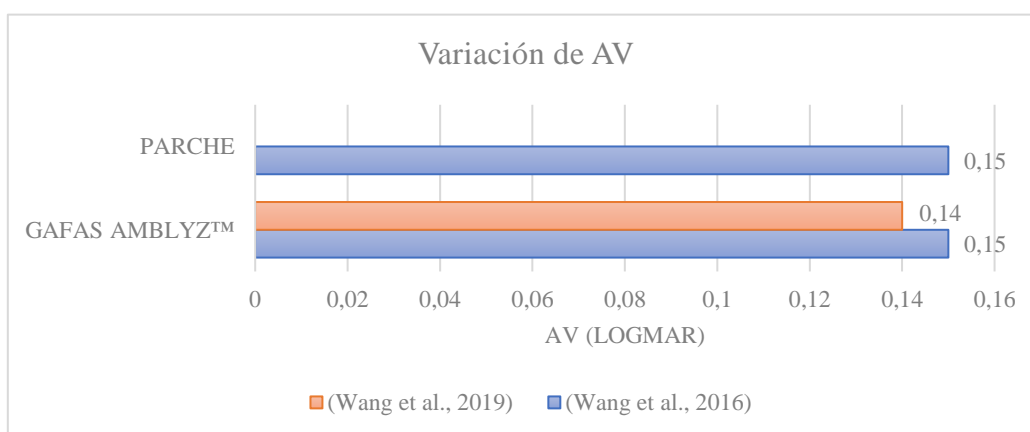


Figura 18. Mejora de AV (Gafas Amblyz™ y parche).

IV. 2.2 Alternative Flicker Glass

Alternative Flicker Glass (AFG), provistas por Eyetronix, son gafas que emplean una pantalla electrónica de cristal líquido, la cual permite presentar alternativamente imágenes al ojo ambliope y no ambliope de forma personalizada. La tasa de oclusión alterna, precisa y rápida se consigue gracias a un obturador electrónico controlado por un microchip preprogramado, de manera que estas lentes comprenden un gel con moléculas orgánicas suspendidas entre 2 placas delgadas recubiertas con una fina película polarizada (Yuan et al., 2021).

En el estudio (Yuan et al., 2021) se investigó la eficacia de la oclusión alternante utilizando AFG frente a la terapia de oclusión continua usando parches tradicionales para el tratamiento de la ambliopía. En este ensayo se inscribieron 40 niños de 7-13 años con ambliopía anisométrica (0,2-0,7 logMAR) y cada uno fue asignado al azar a la oclusión alternante mediante gafas de cristal líquido 1 h/día, 7 días a la semana a lo largo de 12 semanas (42 h de oclusión) o a la oclusión continua mediante parche 2 h/día, 7 días a la semana, durante 12 semanas (168 h). La AV, la sensibilidad al contraste y la estereopsis se midieron al inicio del estudio y a las 3 y 12 semanas.

La frecuencia de parpadeo fue preprogramada a 7 Hz, la cual se ha demostrado que evita la supresión interocular llevada a cabo en la ambliopía, con un ciclo de trabajo del 50% entre los ojos derecho e izquierdo. Así, se permitió a los sujetos experimentar una visión binocular mediante una velocidad de parpadeo alternativa.

Al inicio, la AV media fue de $0,45 \pm 0,20$ logMAR. Esta mejoró $0,17$ logMAR en el grupo de oclusión alternante y $0,1$ logMAR en el grupo de parcheo a las 12 semanas. De este modo, no existieron diferencias significativas entre los grupos. En cuanto a la sensibilidad al contraste, esta tuvo una mejora significativa en las frecuencias espaciales de 3, 6, 12 y 18 ciclos por grado en el grupo de oclusión alternante, mientras que esta solo aumentó de forma significativa en la frecuencia de 3 ciclos por grado en el grupo de parcheo. La estereopsis mejoró a $105,00 \pm 75,57''$ de $609,00 \pm 860,54''$ en el grupo de oclusión alternante y a $312,50 \pm 276,88''$ en el grupo de parcheo de $576,00 \pm 637,15''$.

Como conclusión, se dictaminó que la oclusión alternante usando gafas de cristal líquido fue eficaz para mejorar la función monocular y binocular, lo que probablemente se logró al reducir la supresión y promover la fusión binocular. Esta terapia se mostró prometedora como método alternativo para el tratamiento de la ambliopía anisométrica.

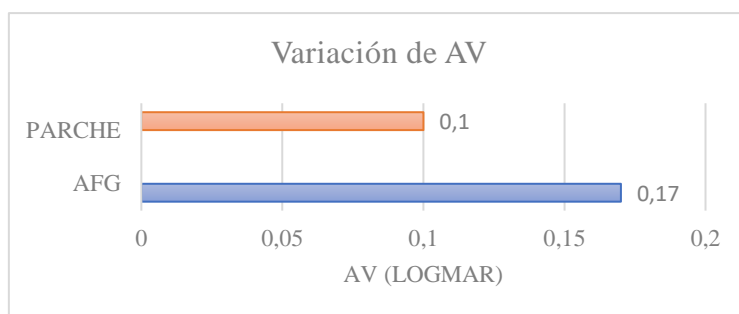


Figura 19. Mejora de AV (AFG y parche).

IV. 3. Acupuntura láser

IV. 3. 1. Láser Biolite

En (Vanzini et al., 2016) se trataron a niños con ambliopía utilizando técnicas de acupuntura, en concreto, acupuntura láser mediante Biolite. Este es un láser de nivel ultrabajo, el cual se utilizó con una potencia de $0,015$ mW, una densidad de potencia de $0,115$ mW/cm² y una dosimetría a los 20 segundos de $0,3$ mJ o $2,3$ mJ/cm². Con el fin de originar esta potencia especialmente baja se combinaron 2 modulaciones de onda cuadrada: una modulación de 100 Hz y otra de 1 Hz. Mientras que la primera modulación (100 Hz) se ocasionó de forma electrónica, la segunda (1 Hz) fue producida de manera manual llevando a cabo un ciclo de trabajo al 1 y 50%, respectivamente.

La emisión láser llevada a cabo por Biolite (patentado internacionalmente) se realizó a través de una luz roja modulada ($\lambda = 635$ nm), la cual fue absorbida aproximadamente en un 30% por una lente convergente/divergente. Así, se consiguió el enfoque del haz resultando una proyección

(spot) de 0,13 cm². En (Figura 19) se muestran los puntos de acupuntura seleccionados en el ensayo.

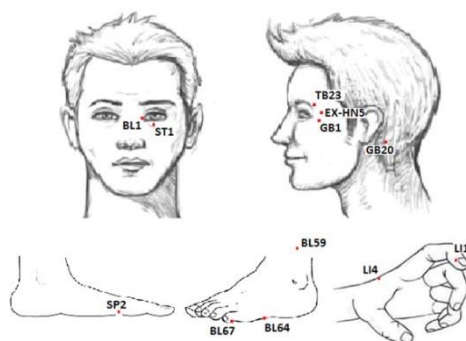


Figura 20. Puntos de acupuntura seleccionados (Vanzini et al., 2016).

Vanzini et al. incluyeron en su estudio a 13 niños de 3 a 11 años con ambliopía anisométrica leve (entre 0,04 - 0,3 logMAR). Todos fueron tratados con acupuntura láser utilizando Biolite. Cada sesión duró menos de 15 minutos y el tratamiento se realizó una vez a la semana en ciclos de 6 semanas. No obstante, el número de sesiones realizadas difirió entre los participantes. De los 13 pacientes tratados, 11 experimentaron mejoras notables en la AV, obteniéndose de media una mejora de 0,09 logMAR. Esta técnica, al ser indolora y aplicarse con rapidez, consiguió que los pacientes la recibieran sin provocar mayores complicaciones. Como beneficio de lo comentado anteriormente se observó que el cumplimiento de los pacientes jóvenes fue muy alto a pesar de que 8 precisaron repetir el tratamiento por regresión de la ambliopía. De este modo, teniendo en cuenta los resultados obtenidos, se consideró que ante la ausencia de efectos secundarios podría ser posible la aplicación de este tratamiento en la práctica terapéutica actual. Sin embargo, los efectos producidos con Biolite a largo plazo podrían variar entre las personas siendo necesario en algunos casos que los pacientes volvieran a recibir la terapia.

IV. 4. Rigor científico de los tratamientos

Con el fin de recoger el rigor científico de los tratamientos de la ambliopía que emplean equipos tecnológicos y/o programas informáticos se ha utilizado como tabla de jerarquía de la evidencia: National Health and Medical Research Council (NHMRC). Aunque existen una gran variedad de clasificaciones para valorar la evidencia de los tratamientos, la elección de emplear NHMRC se fundamenta en que esta ha sido creada, entre otras finalidades, para evaluar las tecnologías sanitarias (Manterola et al., 2014).

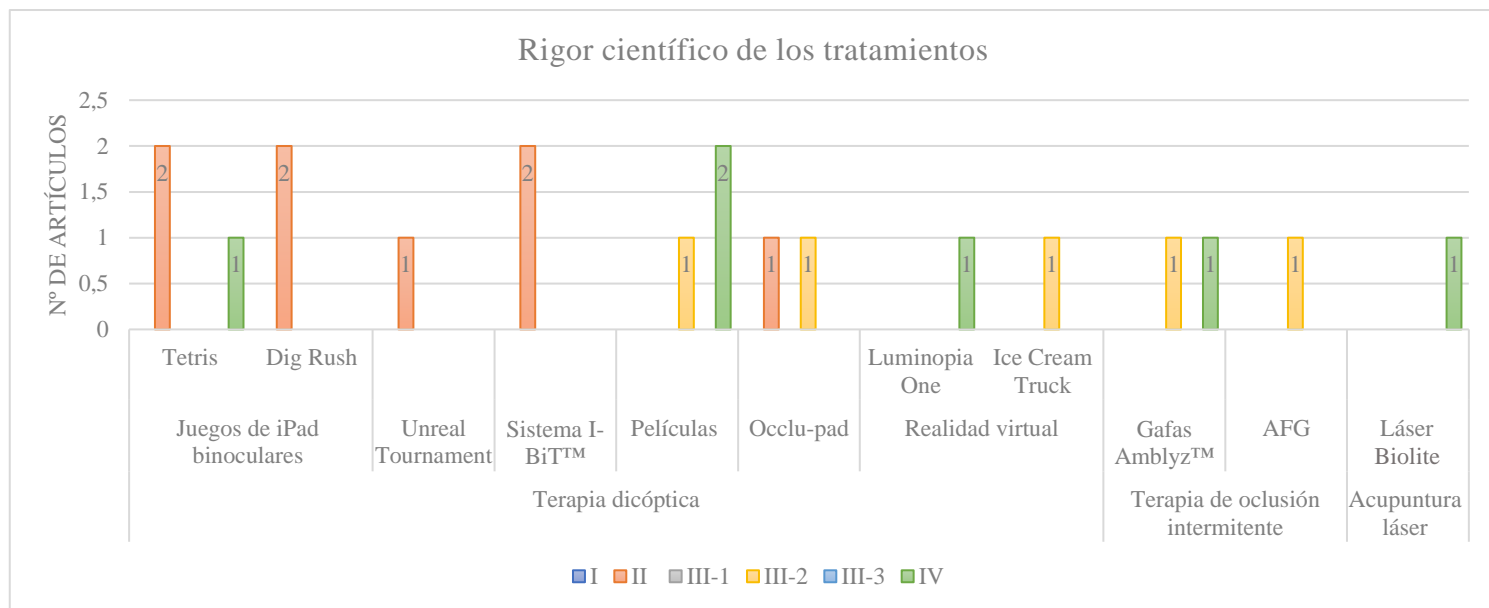


Figura 21. Clasificación NHMRC de los estudios analizados en relación con su tratamiento.

De los 11 tratamientos analizados en (Figura 21) se puede observar que el Tetris, Dig Rush, Unreal Tournament, el sistema I-BiT™ y el Occlu-pad son los únicos que llegan a un nivel II de evidencia, ya que han sido estudiados en ensayos controlados con asignación aleatoria. Además, se resalta la carencia de nivel I de evidencia en cualquiera de las terapias y, por tanto, la necesidad de seguir investigando acerca de las mismas.

IV. 5. Eficacia de los tratamientos

La eficacia de los tratamientos se ha analizado fundamentalmente teniendo en cuenta la mejora media de AV conseguida con los mismos, ya que esta medida estaba presente en todos los estudios. Como se muestra en (Figura 22), la terapia dicóptica llevada a cabo con Occlu-pad proporcionó el mayor beneficio visual. No obstante, su tiempo de aplicación también fue superior al de los demás tratamientos, lo que puede justificar esa mayor mejora. Por ello, se sigue afirmando la necesidad de una mayor investigación.

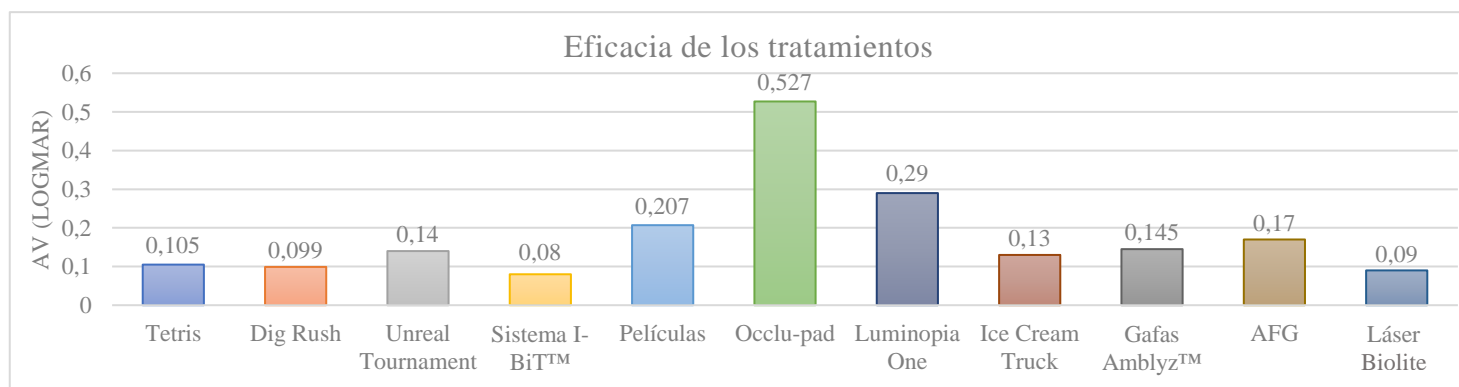


Figura 22. Mejora media de la AV de las terapias analizadas.

Además, al ser considerada como clínicamente significativa una ganancia $\geq 0,2$ logMAR (Taylor et al., 2012), en (Figura 23) se recogió el número y porcentaje de individuos que consiguieron dicha mejora e inferior con cada uno de los tratamiento estudiados.

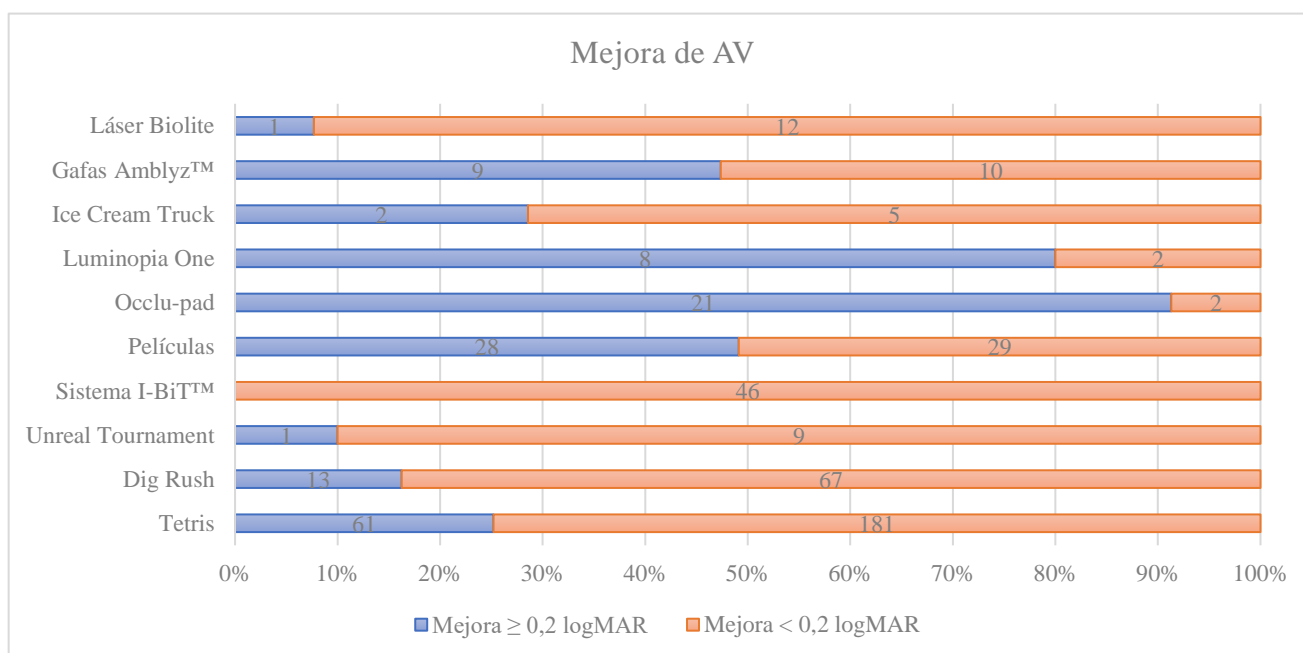


Figura 23. Número y porcentaje de individuos con una mejora \geq de 0,2 logMAR e inferior.

Aunque el tratamiento mediante AFG y los estudios (Rajavi et al., 2019), (Totsuka et al., 2018) y (Wang et al., 2019) no pudieron ser registrados, se observa que la terapia Luminopia One y el dispositivo Occlu-pad son los que logran una mayor mejora clínicamente significativa, seguidos de las películas y las gafas Amblyz™.

Por otro lado, la ganancia media de AV gracias al parche (extraída de los estudios analizados) fue de 0,19 logMAR. Si esta se compara con la conseguida mediante los tratamientos mostrados en (Figura 22), únicamente el Occlu-pad, Luminopia One y las películas dicópticas serían superiores. No obstante, al igual que ocurría cuando analizábamos la gran mejora conseguida con Occlu-pad, en 2 de los casos registrados se utiliza el parche durante un tiempo superior al de las otras terapias. Por tanto, se puede considerar que mediante dispositivos como las gafas Amblyz™ o AFG y juegos como Unreal Tournament o Ice Cream Truck, la mejora de AV es similar a la del parche. De hecho, en sus respectivos estudios, tanto las gafas Amblyz™ como AFG lograron resultados visuales similares a los del parche e incluso superiores en el caso de AFG.

De este modo, teniendo en cuenta todos los datos analizados y comparados, se pueden observar tendencias de tratamiento prometedoras que deben ser confirmadas, a poder ser, en un futuro cercano.

V. Conclusiones

Tras analizar los 19 artículos que competen esta revisión bibliográfica y atendiendo a los objetivos fijados al inicio de la misma, se obtuvieron las siguientes conclusiones:

- ✓ Los equipos tecnológicos y programas informáticos empleados recientemente en la corrección de la ambliopía en menores de 18 años son los juegos de iPad binoculares (Tetris y Dig Rush), el juego de acción dicóptico Unreal Tournament, el sistema I-BiT™, las películas dicópticas, el dispositivo Occlu-pad, la realidad virtual (terapia Luminopia One y el juego Ice Cream Truck), las gafas de oclusión intermitente (Amblyz™ y Alternative Flicker Glass) y el láser Biolite.
- ✓ En cuanto a la evidencia científica de los tratamientos estudiados, la terapia dicóptica es la única que presenta un nivel II de evidencia (Tetris, Dig Rush, Unreal Tournament, sistema I-BiT™ y Occlu-pad). La terapia de oclusión intermitente llega a un nivel III-2, mientras que la acupuntura láser muestra el nivel más bajo (IV). Por todo lo anterior, se requiere una mayor investigación en este campo.
- ✓ Valorando la eficacia del tratamiento según la mejora de AV, el dispositivo Occlu-pad, Luminopia one y las películas dicópticas serían los más eficaces seguidos de las gafas Amblyz™. No obstante, el pequeño tamaño de la muestra y la falta de ensayos controlados aleatorizados nos impide sacar conclusiones definitivas y nos obliga a reivindicar la necesidad de estudios mayores.
- ✓ En comparación con la terapia convencional mediante el parche, se puede determinar (a falta de un análisis más profundo) que el dispositivo Occlu-pad, la terapia Luminopia One, las películas dicópticas, los juegos Ice Cream Truck y Unreal Tournament, y las gafas Amblyz™ y AFG consiguen resultados similares.
- ✓ Las nuevas líneas de investigación se enfocan en mantener la visión binocular durante el tratamiento y conseguir un buen cumplimiento. Se proponen ensayos controlados aleatorizados con una muestra de gran cuantía y seguimiento postratamiento para verificar los resultados prometedores.

VI. Bibliografía

Alcalde NG, Barraza JF, Colombo EM. Estrategias de tratamiento binocular en ambliopía. Anales AFA. 2018; 67-75.

Birch EE, Jost RM, De La Cruz A, Kelly KR, Beauchamp CL, Dao L, et al. Binocular amblyopia treatment with contrast-rebalanced movies. *J AAPOS*. 2019; 23(3): 160.e1-160.e5.

Birch EE, Li SL, Jost RM, Morale SE, De La Cruz A, Stager D, et al. Binocular iPad treatment for amblyopia in preschool children. *J AAPOS*. 2015; 19 (1): 6-11.

Bosquet Nuño S, Piñero Llorens DP. Terapia visual dicóptica para la ambliopía en niños: revisión bibliográfica. *Gaceta de optometría y óptica oftálmica*. 2019; 543: 40-45.

Bossi M, Taylor VK, Anderson EJ, Bex PJ, Greenwood JA, Dahlmann-Noor A, et al. Binocular therapy for childhood amblyopia improves vision without breaking interocular suppression. *Invest Ophthalmol Vis Sci*. 2017; 58(7): 3031-3043.

Buffon M. Dissertation sur la cause du strabisme ou les yeux louches. *Mem Acad Roy Sci*. 1743; 231-248.

Burian HM. Thoughts on the nature of amblyopia ex anopsia. *Am Orthopt J*. 1956; 6: 5-12.

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.

García Aguado J, Sánchez Ruiz-Cabello FJ, Colomer Revuelta J, Cortés Rico O, Esparza Olcina MJ, Galbe Sánchez Ventura J, et al. Valoración de la agudeza visual. *Rev Pediatr Aten Primaria*. 2016; 18: 267-74.

Goñi-Boza E, Ortiz Barrantes R. Conceptualización integral de la ambliopía. *Cienc Tecnol Salud Vis Ocul*. 2018; 16 (2): 91-98.

Gutiérrez Maldonado J. Aplicaciones de la realidad virtual en psicología clínica. *Aula médica psiquiatría*. 2002; 4 (2): 92-126.

Hamm LM, Chen Z, Li J, Dai S, Black J, Yuan J, et al. Contrast-balanced binocular treatment in children with deprivation amblyopia. *Clin Exp Optom*. 2018; 101 (4): 541–552.

Herbison N, MacKeith D, Vivian A, Purdy J, Fakis A, Ash IM, et al. Randomised controlled trial of video clips and interactive games to improve vision in children with amblyopia using the I-BiT system. *Br J Ophthalmol*. 2016; 100 (11): 1511-1516.

Hess RF, Thompson B, Baker DH. Binocular vision in amblyopia: structure, suppression and plasticity. *Ophthalmic Physiol Opt.* 2014; 34 (2): 146-162.

Holmes JM, Manh VM, Lazar EL, Beck RW, Birch EE, Kraker RT, et al. Effect of a binocular iPad game vs part-time patching in children aged 5 to 12 years with amblyopia: a randomized clinical trial. *JAMA Ophthalmol.* 2016; 134 (12): 1391-1400.

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): 456-466.

Iwata Y, Handa T, Ishikawa H, Goseki T, Shoji N. Comparison between Amblyopia Treatment with Glasses Only and Combination of Glasses and Open-Type Binocular “Occlu-Pad” Device. *Biomed Res Int.* 2018.

Jacobs S, Ferrein A, Lakemeyer G. Controlling unreal tournament 2004 bots with the logic-based action language GOLOC. *AIIDE.* 2005; 151-152.

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): 1402-1408.

Lee HJ, Kim SJ. Effectiveness of binocularity-stimulating treatment in children with residual amblyopia following occlusion. *BMC Ophthalmol.* 2018; 18 (1).

Levitt H. Transformed up-down methods in psychoacoustics. *J Acoustic Soc Am.* 1971; 49: 467-476.

Li SL, Reynaud A, Hess RF, Wang Y-Z, Jost RM, Morale SE, et al. Dichoptic movie viewing treats childhood amblyopia. *J AAPOS.* 2015; 19(5): 401-405.

López Y. Importancia de la valoración de sensibilidad al contraste en la práctica optométrica. *Cienc Tecnol Salud Visual Ocular.* 2009; 7(2): 99-114.

Maconachie GD, Gottlob I. The challenges of amblyopia treatment. *Biomed J.* 2015; 38 (6): 510-516.

Manh VM, Holmes JM, Lazar EL, Kraker RT, Wallace DK, Kulp MT, et al. A randomized trial of a binocular iPad game versus part-time patching in children aged 13 to 16 years with amblyopia. *Am J Ophthalmol*. 2018; 186: 104-115.

Manterola C, Asenjo-Lobos C y Otzen T. Jerarquización de la evidencia. Niveles de evidencia y grados de recomendación de uso actual. *Rev Chil Infectol*. 2014; 31 (6): 705-718.

Martín Herranz R, Vecilla Antolínez G. Manual de optometría. Buenos Aires: Médica Panamericana; 2010.

Merchante Alcántara MM. Estrabismo y ambliopía. *Pediatría Integral*. 2013; 17 (7): 489-506.

Ondategui Parra JC. Visión binocular: diagnóstico y tratamiento. Barcelona: Universitat Politècnica de Catalunya; 1998.

Portela Camino JA. De dónde venimos y hacia dónde vamos en el manejo y tratamiento de la ambliopía. *Gaceta de optometría y óptica oftálmica*. 2020; 564: 36-42.

Rajavi Z, Sabbaghi H, Amini Sharifi E, Behradfar N, Kheiri B. Comparison between patching and interactive binocular treatment in amblyopia: a randomized clinical trial. *J Curr Ophthalmol*. 2019; 31 (4): 426–431.

Segret Sala R. Visión general de la informática. Barcelona: Editorial UOC; 2013.

Spierer A, Raz J, Benezra O, Herzog R, Cohen E, Karshai I, et al. Treating amblyopia with liquid crystal glasses: a pilot study. *Invest Ophthalmol Vis Sci*. 2010; 51 (7): 3395-3398.

Sussmann DJ. Acupuntura: teoría y práctica. 13ª ed. Buenos Aires: Kier; 2000.

Sutherland IE. A head-mounted three dimensional display. *Proc FJCC*. 1968; 757-764.

Taylor V, Bossi M, Greenwood JA, Dahlmann-Noor A. Childhood amblyopia: current management and new trends. *Br Med Bull*. 2016; 119 (1): 75-86.

Taylor K, Powell C, Hatt SR, Stewart C. Interventions for unilateral and bilateral refractive amblyopia. *Cochrane Database Syst Rev*. 2012.

Totsuka S, Handa T, Ishikawa H, Shoji N. Improvement of Adherence with Occlu-Pad Therapy for Pediatric Patients with Amblyopia. *Biomed Res Int*. 2018.

Vanzini M, Gallamini M. Amblyopia: can laser acupuncture be an option? *J Acupunct Meridian Stud*. 2016; 9(5): 267-274.

Vedamurthy I, Nahum M, Bavelier D, Levi DM. Mechanisms of recovery of visual function in adult amblyopia through a tailored action video game. *Sci Rep*. 2015; 5 (1): 8482-8482.

Wallace DK, Repka MX, Lee KA, Melia M, Christiansen SP, Morse CL, Sprunger DT. Amblyopia Preferred Practice Pattern. *Ophthalmology*. 2018; 125 (1): 105-142.

Wang J, Jin J, Malik A, Shoge R, Meiyeppen S, Pang Y, et al. Feasibility of monitoring compliance with intermittent occlusion therapy glasses for amblyopia treatment. *J AAPOS*. 2019; 23 (4).

Wang J, 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): 326-331.

Wright KW. *Handbook of pediatric strabismus and amblyopia*. 1^a ed. New York: Springer; 2006.

Xiao S, Gaier ED, Mazow ML, Stout AU, Travers DA, Angjeli E, et al. Improved adherence and treatment outcomes with an engaging, personalized digital therapeutic in amblyopia. *Sci Rep*. 2020; 10 (1).

Yuan Y, Zhu C, Wang P, Hu X, Yao W, Huang X, et al. Alternative Flicker Glass: a new anti-suppression approach to the treatment of anisometric amblyopia. *Ophthalmic Res*. 2021.