



## GRADO EN ÓPTICA Y OPTOMETRÍA

### TRABAJO FINAL DE GRADO

---

# MEJORA DE LA SENSIBILIDAD AL CONTRASTE EN PACIENTES CON AMBLIOPÍA: REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA SISTEMÁTICA

**Shirley Nicol Moreira Jumbo**

DIRECTOR/A: Juan Carlos Ondategui Parra

DEPARTAMENTO: ÓPTICA Y OPTOMETRÍA

23 de junio de 2021



## GRADO EN ÓPTICA Y OPTOMETRÍA

El Dr. Juan Carlos Ondategui Parra, como director del trabajo,

CERTIFICA

Que Shirley Nicol Moreira Jumbo ha realizado bajo mi supervisión el trabajo “***Mejora de la sensibilidad al contraste en pacientes con ambliopía: revisión bibliográfica sistemática***” que se recoge en esta memoria para optar al título de Grado en Óptica y Optometría.

Para que conste, firmo el siguiente certificado.

Dr. Juan Carlos Ondategui Parra  
Director del TFM

Terrassa, 23 de juny de 2021



## GRADO EN ÓPTICA Y OPTOMETRÍA

# MEJORA DE LA SENSIBILIDAD AL CONTRASTE EN PACIENTES CON AMBLIOPÍA: REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA SISTEMÁTICA

### RESUMEN

**PROPÓSITO:** Realizar una revisión bibliográfica sistemática sobre la evaluación y mejora de la sensibilidad al contraste en pacientes ambliopes estrábicos, refractivos y/o mixtos.

**MÉTODOS:** Se realizó una búsqueda bibliográfica a través de las bases de datos Medline y PubMed, siguiendo la metodología PRISMA, de artículos científicos publicados los últimos diez años. Se realizó el proceso de identificación, selección e inclusión de los 71 estudios que fueron analizados en el trabajo.

**RESULTADOS:** La revisión bibliográfica sistemática muestra la importancia de la valoración de la sensibilidad al contraste en pacientes ambliopes. Se observa la cantidad de tratamientos pasivos en los que se obtiene una mejora significativa de los resultados, siendo más relevante el tratamiento con oclusión. También, en el tratamiento de aprendizaje perceptual y entrenamiento dicóptico se observa la obtención de mejores resultados a diferencia de otros tratamientos, siendo estas la mejor opción para mejorar la sensibilidad al contraste en los pacientes ambliopes.

**CONCLUSIÓN:** Se observan diversos tratamientos para tratar la ambliopía que mejoran la sensibilidad al contraste tanto en ambliopes estrábicos como anisométricos. Siendo la oclusión, el aprendizaje perceptual y el entrenamiento dicóptico mediante realidad virtual y videojuegos los que sugieren obtener mejores resultados. Es por eso, que son necesarios más estudios de calidad que puedan demostrar la validez de la mejora de la sensibilidad al contraste en otras áreas de los tratamientos pasivos y activos.



## GRADO EN ÓPTICA Y OPTOMETRÍA

# MEJORA DE LA SENSIBILIDAD AL CONTRASTE EN PACIENTES CON AMBLIOPÍA: REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA SISTEMÁTICA

### RESUM

**PROPÒSIT:** Realitzar una revisió bibliogràfica sistemàtica sobre l'avaluació i millora de la sensibilitat al contrast en pacients ambliopes estràbics, refractius i / o mixtes.

**MÈTODES:** Es va realitzar una recerca bibliogràfica a través de les bases de dades Medline i PubMed, seguint la metodologia PRISMA, d'articles científics publicats els darrers deu anys. Es va realitzar el procés d'identificació, selecció i inclusió dels 71 estudis que van ser analitzats en el treball.

**RESULTATS:** La revisió bibliogràfica sistemàtica mostra la importància de la valoració de la sensibilitat al contrast en pacients ambliopes. S'observa la quantitat de tractaments passius en què s'obté una millora significativa dels resultats, sent més rellevant el tractament amb oclusió. També, en el tractament d'aprenentatge perceptual i entrenament dicòptic s'observa l'obtenció de millors resultats a diferència d'altres tractaments, sent aquestes la millor opció per millorar la sensibilitat al contrast en els pacients ambliopes.

**CONCLUSIÓ:** S'observen diversos tractaments per tractar la ambliopia que milloren la sensibilitat al contrast tant en ambliopes estràbics com anisomètrics. Sent l'occlusió, l'aprenentatge perceptual i l'entrenament dicòptic mitjançant realitat virtual i videojocs els que suggereixen obtenir millors resultats. És per això, que són necessaris més estudis de qualitat que puguin demostrar la validesa de la millora de la sensibilitat al contrast en altres àrees dels tractaments passius i actius.



## GRADO EN ÓPTICA Y OPTOMETRÍA

# MEJORA DE LA SENSIBILIDAD AL CONTRASTE EN PACIENTES CON AMBLIOPÍA: REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA SISTEMÁTICA

### SUMMARY

**PURPOSE:** To conduct a systematic literature review on whether contrast sensitivity is evaluated and improved in strabismic, refractive and/or mixed amblyopic patients.

**METHODS:** A literature search was carried out using the Medline and PubMed databases, following the PRISMA methodology, of scientific articles published in the last ten years. The process of identification, selection and inclusion of the 71 studies that were analysed in the study was carried out.

**RESULTS:** The systematic literature review shows the importance of contrast sensitivity evaluation in amblyopic patients. The amount of passive treatments in which a significant improvement in results is obtained is observed, the treatment with occlusion being more relevant. Also, in the perceptual learning treatment and dichoptic training, better results were obtained than in other treatments, these being the best option for improving contrast sensitivity in amblyopic patients.

**CONCLUSION:** Various treatments for amblyopia are observed to improve contrast sensitivity in both strabismic and anisometropic amblyopes. Occlusion, perceptual learning and dichoptic training using virtual reality and video games suggest the best results. Therefore, more quality studies are needed to demonstrate the validity of contrast sensitivity enhancement in other areas of passive and active treatments.



## GRADO EN ÓPTICA Y OPTOMETRÍA

### ÍNDICE

1.	<b>INTRODUCCIÓN</b>	10
2.	<b>JUSTIFICACIÓN Y OBJETIVOS</b>	11
	2.1. Objetivo Principal	11
	2.2. Objetivos Secundarios	11
3.	<b>METODOLOGÍA</b>	12
	3.1. Estrategia de Búsqueda Bibliográfica	12
	3.2. Metodología Prisma	12
	3.3. Gráfico Prisma	13
4.	<b>DEFINICIÓN DE AMBLIOPÍA</b>	14
	4.1. Etiología	15
	4.2. Epidemiología y factores de riesgo	16
	4.3. Clasificación de la ambliopía	17
	4.3.1. Ambliopía orgánica	17
	4.3.2. Ambliopía funcional	18
	4.3.2.1. Ambliopía estrábica	18
	4.3.2.2. Ambliopía anisométrica	20
	4.3.2.3. Ambliopía por privación	21
5.	<b>EVALUACIÓN DEL OJO AMBLIOPE</b>	22
	5.1. Error refractivo	22
	5.2. Agudeza Visual	22
	5.3. Otras funciones visuales a evaluar:	23
	Binocularidad	23
	Motilidad ocular	25
	Sensibilidad al contraste	26
	Estereopsis	29
6.	<b>TRATAMIENTOS DE LA AMBLIOPÍA</b>	32
	6.1. TRATAMIENTO PASIVO	33
	6.1.1. Corrección óptica	33
	6.1.2. Oclusión	34
	6.1.3. Penalización	36



	Penalització òptica	36
	Penalització farmacològica	37
	6.2. TRATAMIENTO ACTIVO	40
7.	<b>TRATAMIENTOS DE LA AMBLIOPÍA EN LAS NUEVAS TECNOLOGÍAS</b>	50
	7.1. Videojuegos	50
	7.2. Realidad Virtual	52
8.	<b>DISCUSIÓN</b>	54
9.	<b>CONCLUSIONES</b>	57
10.	<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	58
11.	<b>INFOGRAFÍA</b>	65

## ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1: Figura 1. Diagrama de flujo PRISMA que representa el proceso de identificación de estudios.....</i>	<i>13</i>
<i>Figura 2: Tipos de estrabismos según la dirección de la desviación.....</i>	<i>18</i>
<i>Figura 3: Comparación entre visión binocular normal y visión con ambliopía en el ojo derecho. ....</i>	<i>20</i>
<i>Figura 4: Sensibilidad al contraste vs. Edad. ....</i>	<i>26</i>
<i>Figura 5: Test de sensibilidad al contraste, Pelli-Robson (a) y LEA (b). Tipo cartillas de letras. ....</i>	<i>27</i>
<i>Figura 6: Curvas de sensibilidad al contraste con el CSV 1000E para ojos ambliopes (líneas continuas) y sanos (líneas discontinuas), antes del tratamiento (gris) y después del tratamiento (negro).....</i>	<i>29</i>
<i>Figura 7: Estereoagudeza vs. AV. Las líneas horizontales grises muestran los límites superior e inferior de la prueba. ....</i>	<i>30</i>
<i>Figura 8: Test de estereopsis Randot. ....</i>	<i>31</i>
<i>Figura 9: Test de estereopsis TNO.....</i>	<i>31</i>
<i>Figura 10: Paciente realizando este tratamiento. (a) Paciente viendo la televisión. (b) Paciente jugando juegos de ordenador.....</i>	<i>42</i>
<i>Figura 11: Sensibilidad al contraste de ojo ambliope a diferentes frecuencias espaciales en pacientes antes y después del tratamiento. ....</i>	<i>42</i>
<i>Figura 12: Paciente realizando una sesión con Syntonics. ....</i>	<i>43</i>
<i>Figura 13: Separación de los elementos dinámicos y estáticos. La imagen de la izquierda se le presenta al ojo no ambliope y la imagen de la derecha al ojo ambliope. ....</i>	<i>45</i>
<i>Figura 14: El estímulo de Gabor utilizado para el aprendizaje perceptivo.....</i>	<i>46</i>
<i>Figura 15: Sensibilidad de contraste antes, durante y después del tratamiento con aprendizaje perceptivo. ....</i>	<i>47</i>
<i>Figura 16: Sensibilidad de contraste media del ojo ambliope a diferentes frecuencias espaciales en pacientes con ambliopía anisométrica al inicio y después del tratamiento con (a) aprendizaje perceptivo y (b) oclusión.....</i>	<i>47</i>
<i>Figura 17: Una captura de pantalla del juego dicóptico mientras es jugado por un participante ambliope.....</i>	<i>50</i>



## ÍNDICE DE TABLAS

*Tabla 1: Tipos de estrabismos primarios, con presencia o ausencia de ambliopía..... 19*

## ABREVIATURAS

AV: agudeza visual

D: dioptrías

FMCB: Fijación monocular en campo binocular

I-BiT: Tratamiento Binocular Interactivo

LC: lentes de contacto

RV: realidad virtual

SC: sensibilidad al contraste

## 1. INTRODUCCIÓN

La ambliopía se define clínicamente como la disminución de la agudeza visual monocular o binocular, causada por una interacción entre ambos ojos anormal durante el período crítico del desarrollo visual, que no se puede atribuir a ninguna anomalía ocular o del sistema visual ni a un error de refracción (*American Academy of Optometry, 2019*). Con actualmente una prevalencia estimada de entre 2% a 5% en la población infantil de hasta 7 años (*Taylor et al., 2016; West et al., 2015; Hamm et al., 2014*).

Es causada cuando la ruta nerviosa desde el ojo hasta el cerebro no se desarrolla adecuadamente durante la etapa de desarrollo visual en la infancia, dado que la imagen transmitida al cerebro es muy distinta a la del ojo sano, o en ambos ojos (*West et al., 2014; Loudon et al., 2011; Zipori et al., 2018*).

La sensibilidad al contraste se puede definir como la capacidad de una persona para detectar o identificar la presencia de mínimas diferencias de luminosidad ya sea objetos o áreas. Es decir, esta prueba representa el menor contraste que el sistema visual puede detectar. La sensibilidad al contraste evalúa subjetivamente la función visual a través de la percepción de las frecuencias espaciales (tamaño) y contraste (*Bermúdez et al., 2007; López, 2009; Piñeros & Salamanca., 2014*).

El objetivo de este trabajo es realizar una búsqueda bibliográfica de los avances en la ambliopía y sensibilidad al contraste en los últimos diez años.

## 2. JUSTIFICACIÓN Y OBJETIVOS

### 2.1. Objetivo Principal

El objetivo principal de esta búsqueda bibliográfica es conocer la significancia de la evaluación de la sensibilidad al contraste y su mejora mediante los tratamientos actuales de la ambliopía.

### 2.2. Objetivos Secundarios

Los objetivos secundarios de este trabajo son:

- Determinar qué tipo de tratamiento es más efectivo.
- Determinar si existe transferencia entre la mejora de la agudeza visual y la mejora de la sensibilidad al contraste.

### 3. METODOLOGÍA

#### 3.1. Estrategia de Búsqueda Bibliográfica

Para la realización de este trabajo se ha realizado una búsqueda bibliográfica de artículos científicos publicados en los últimos años, desde 2010 a 2021, mediante la base de datos Medline y PubMed, siguiendo las directrices de los Elementos de Información Preferidos para Revisiones Sistemáticas y Meta-Análisis (PRISMA).

#### 3.2. Metodología Prisma

- CRITERIOS DE INCLUSIÓN

- Los participantes debían presentar ambliopía estrábica, refractiva (isotrópica o anisométrica) o mixta.
- Debía valorarse la agudeza visual y la sensibilidad al contraste.
- Deben ser artículos publicados en los últimos 10 años.
- El artículo debe proporcionar los resultados de la sensibilidad al contraste.
- Tratamiento convencional (pasivo) y tratamiento activo para mejorar la sensibilidad al contraste.

- CRITERIOS DE EXCLUSIÓN

- Artículos publicados anteriormente del año 2010.
- Estudios que no evalúan la sensibilidad al contraste.
- Estudios que no presentan resultados de sensibilidad al contraste tras el tratamiento.

- ESTRATEGIA DE BÚSQUEDA

La identificación de los estudios se realizó durante los meses de enero y febrero de 2021 mediante los siguientes buscadores: Medline y Pubmed. La combinación de palabras clave y operadores fue la siguiente: "*amblyopia*" AND ("*sensitivity contrast*") AND ("*passive treatment*" OR "*optical correction*" OR "*occlusion*" OR "*pharmacological therapy*" OR "*active treatment*" OR "*perceptual learning*" OR "*dichoptic training*" OR "*virtual reality*" OR "*videogames*").

• IDENTIFICACIÓN DE ESTUDIOS

La primera búsqueda que se realizó combinando las palabras clave mencionadas obtuvo un resultado de 1270 artículos. Todos ellos fueron introducidos en el gestor bibliográfico Mendeley, lo que permitió eliminar los artículos duplicados dando como resultado una cuantificación de 763. Se excluyeron los meta-análisis, lo que redujo el número de artículos a 515. De todos estos estudios, sólo se seleccionaron 131 porque cumplían los criterios de inclusión. Tras la evaluación de todos los artículos, se descartaron los que seguían presentando criterios de exclusión y los que aportaban una menor cuantificación de datos, quedando una cifra final de 71. Todo este proceso está representado en el diagrama de flujo PRISMA (Fig. 1).

3.3. Gráfico Prisma

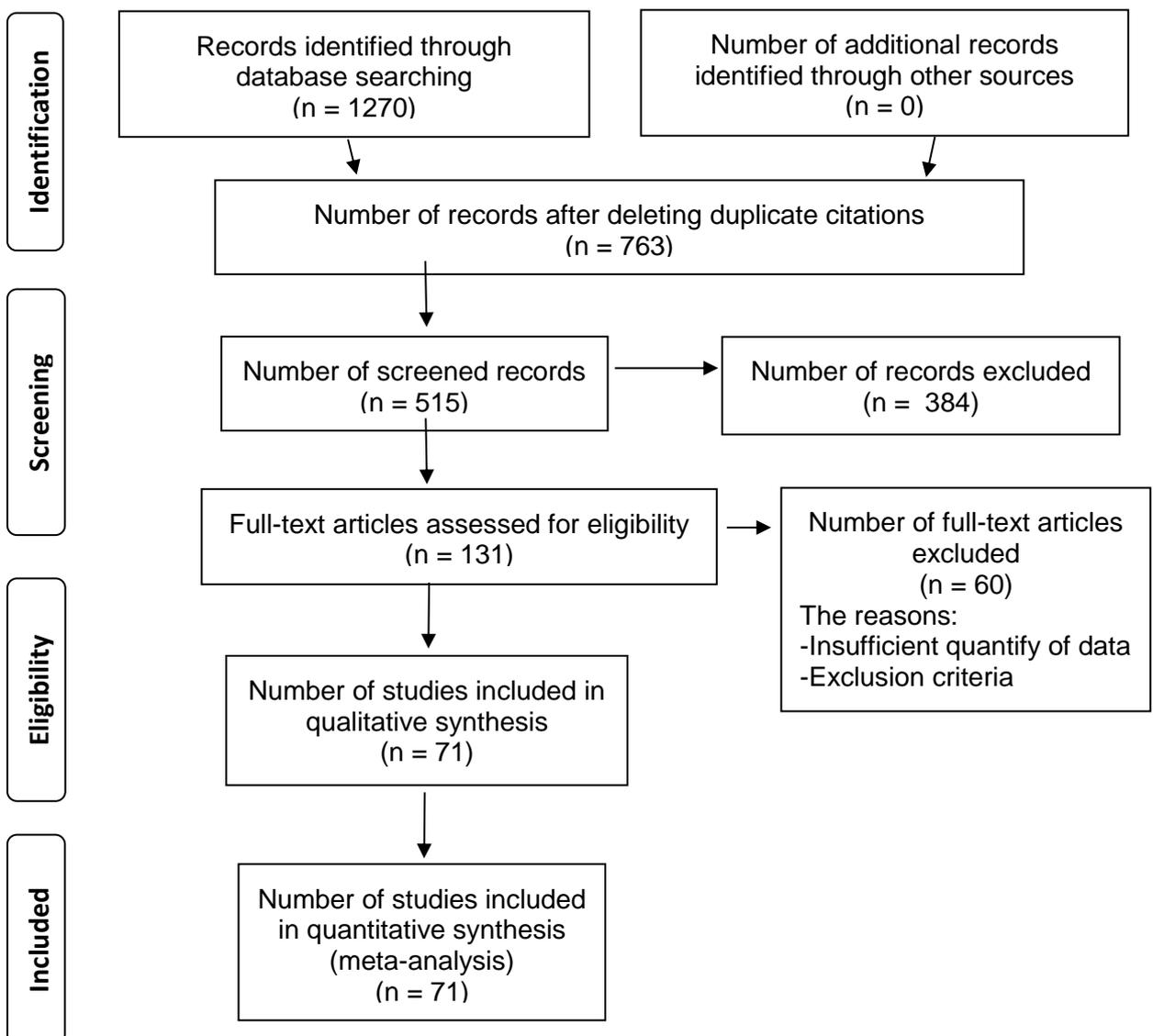


Figura 1. Diagrama de flujo PRISMA que representa el proceso de identificación de estudios.

#### 4. DEFINICIÓN DE AMBLIOPÍA

La ambliopía es la disminución de la agudeza visual no corregible inmediatamente con gafas, en ausencia de patología ocular (*West et al., 2014*). Es un trastorno del neurodesarrollo del sistema visual sobre todo durante la primera infancia (hasta los 7 primeros años). Su propio nombre lo indica gracias a los términos griegos que lo forman: ἀμβλῦς [*amblýs*], 'débil', y ὄψ [*ops*], 'ojo'.

Durante los años se han dado muchas definiciones por autores para este término donde mayoritariamente se centran en la disminución de la visión:

- ❖ *“Disminución de la visión unilateral o bilateral, sin que puedan detectarse causas físicas en el examen del ojo, y que en ciertos casos puede corregirse mediante métodos terapéuticos.” (Burian, 1956)*

Pero, a partir de las últimas investigaciones, el término de ambliopía se ha focalizado como una condición neurológica:

- ❖ *“La ambliopía es un trastorno del desarrollo de la visión espacial que suele asociarse a la presencia de estrabismo, anisometropía o de privación en las primeras etapas de la vida. La ambliopía afecta a los movimientos oculares, a la agudeza visual, a la sensibilidad al contraste, a la agudeza de posición, a la estereopsis y a muchos otros aspectos de la visión.” (Levi, 2013)*

Así pues, la ambliopía se define clínicamente como la disminución de la agudeza visual monocular o binocular, causada por una interacción entre ambos ojos anormal durante el período crítico del desarrollo visual, que no se puede atribuir a ninguna anomalía ocular o del sistema visual ni a un error de refracción. Se considera una diferencia entre ambos ojos de 2 líneas o más en una tabla de agudeza visual (sin especificar ninguna), o una agudeza visual peor o igual a 20/30 con la mejor corrección óptica (*American Academy of Optometry, 2019*).

Pudiéndose gradar cómo:

- Ambliopía leve: AV de 0.5 a 0.7
- Ambliopía moderada: AV de 0.2 a 0.4
- Ambliopía grave o severa: AV < 0.1

#### 4.1. Etiología

La ambliopía es causada cuando la ruta nerviosa desde el ojo hasta el cerebro no se desarrolla adecuadamente durante la etapa de desarrollo visual en la infancia, dado que la imagen transmitida al cerebro es muy distinta a la del ojo sano, o en ambos ojos. Principalmente porque una de las imágenes sufre una pérdida de calidad significativa (enfoque, contraste, distorsión...) o es diferente (en el caso del estrabismo). El hecho de tener dos imágenes muy distintas a nivel cortical de un mismo objeto, no es tolerado por el cerebro y, por esta razón, crea mecanismos de supresión, para minimizar o eliminar esa imagen a nivel binocular.

Las causas más comunes de la ambliopía son (*West et al., 2014; Loudon et al., 2011; Zipori et al., 2018*):

- Estrabismo (la más común, 38% de los casos), cuando los ejes visuales están desalineados provocando que los ojos no reciban imágenes iguales, lo que lleva a que el sistema visual deba adaptarse a este cambio.
- Refractiva, puede ser unilateral o bilateral. La aparición de esta ambliopía es el desenfoque de la imagen que llega a la retina, por lo que, debido al deterioro de la calidad de la imagen, la visión también disminuirá. Podemos distinguir dos tipos:
  - Anisometropía (37%), se produce una imagen retiniana borrosa debido a un error de refracción desigual entre ambos ojos, provocando ambliopía en el ojo con mayor ametropía. Dentro de este grupo encontramos:
    - La anisometropía hipermetrópica.
    - La anisometropía miópica.
    - La anisometropía astigmática.
  - Bilateral, se produce en presencia de altos errores refractivos no corregidos y clínicamente iguales entre ambos ojos, provocando imágenes borrosas en ambas retinas.
- Deprivación u opacidades (1%), cuando estructuras del ojo presentan opacidad evitando el desarrollo en dicho ojo (ptosis, cataratas congénitas, lesiones corneales, etc.).

La ambliopía asociada a la presencia de múltiples factores ambliogénicos se conoce como ambliopía de mecanismo mixto o ambliopía mixta (24%), siendo la combinación más común el estrabismo y la anisometropía (*Hamm et al., 2014; Wang et al., 2015*).

#### 4.2. Epidemiología y factores de riesgo

Los estudios de prevalencia de la ambliopía varían en cuanto la población de estudio, edad, etnia y sobre todo el método diagnóstico, ya sea por las pruebas utilizadas o por el valor de corte de agudeza visual para considerar una alteración ambliópica.

Pero, la gran mayoría coinciden que, actualmente la prevalencia estimada de la ambliopía es de entre 2% a 5% en niños de hasta 7 años, siendo la principal causa de pérdida de visión monocular. Además, puede ser susceptible de tratamiento si se detecta a tiempo (*Taylor et al., 2016; West et al., 2015; Hamm et al., 2014*).

En los artículos de West et al. (2014) y Birch (2013) se hace referencia a un estudio multicéntrico RCT del The Pediatric Eye Disease Investigator Group (2002) con una muestra de 409 niños de edades entre 3 a 6 años tratados de ambliopía. En los resultados se observa que el 38% de los sujetos estudiados eran estrábicos, el 37% eran anisométricos y el 24% presentaban tanto estrabismo como anisometropía.

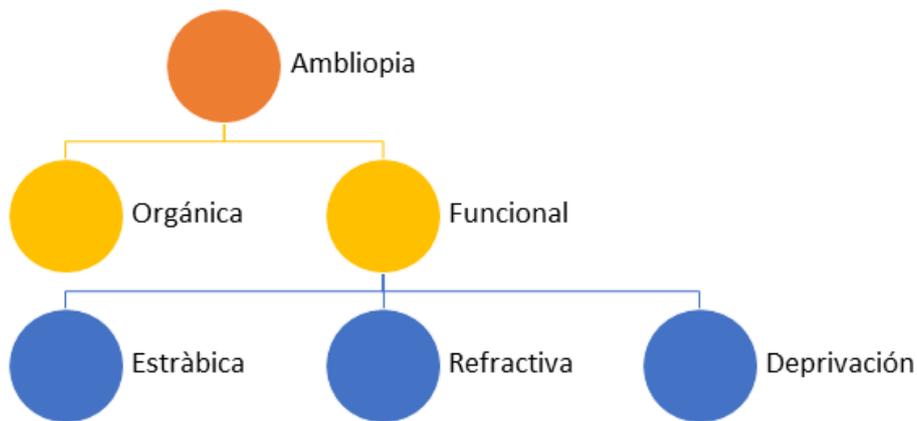
A parte de estos factores también, se han identificado varios factores de riesgo adicionales (*Rouse et al., 2004*):

- Prematuridad.
- Bajo peso al nacer.
- Retinopatía del prematuro (fibroplasia retrolental).
- Parálisis cerebral.
- Retraso mental.
- Antecedentes familiares de ambliopía, estrabismo, anisometropía, isoametropía o catarata congénita.
- Consumo de tabaco, drogas y/o alcohol durante el embarazo.

A nivel mundial se estima que hay 625 millones de niños menores de 5 años, lo que implica que más de 15 millones pueden tener ambliopía y más de la mitad de ellos no serán identificados antes de llegar a la edad escolar (*Birch, 2013*).

### 4.3. Clasificación de la ambliopía

Según las causas de la aparición del deterioro visual se pueden identificar distintos tipos de ambliopía. Una primera clasificación sería la ambliopía orgánica, de la que hablaremos muy puntualmente y una segunda, la ambliopía funcional, en la que nos centraremos en hacer un análisis más detallado a lo largo de todo el trabajo.



#### 4.3.1. Ambliopía orgánica

La ambliopía orgánica se caracteriza por la disminución de la agudeza visual o visión central causada por defectos estructurales o patológicos que alteran el sistema visual, sin importar el tipo de defecto y la localización y, no depende de la estimulación recibida.

Puede ser unilateral o bilateral. En este último caso, se incluye en el contexto de las bajas visiones. La mayoría de ambliopías orgánicas son permanentes e irreversibles.

Su prevalencia es muy baja, pero tiene más potencial para causar ambliopía severa (Jeanrot, 1996) debido a que las estructuras impiden el paso o captan una mala imagen en la retina.

#### 4.3.2. Ambliopía funcional

La ambliopía funcional se define como la disminución de la agudeza visual (AV) de uno o ambos ojos para la que no existe una causa orgánica que lo justifique (o que no hay lesión existente); y que, en un período de tiempo más o menos largo, puede llegar a curarse mediante un tratamiento adecuado.

##### 4.3.2.1. Ambliopía estrábica

El estrabismo es una causa común de ambliopía. Identificar y tratar el estrabismo a una edad temprana mejora las posibilidades de restaurar la binocularidad y puede prevenir la ambliopía, debido a que es cuando existe más plasticidad cerebral, permanente asociada al estrabismo (*Shapira et al., 2017*).

Esta ambliopía está producida por el desalineamiento de los ejes visuales que, por norma general, se manifiesta en edades tempranas, en el período de inmadurez visual dentro del período de plasticidad (9 meses a 2 años). La existencia de este desalineamiento, conocido como estrabismo, no implica la presencia de ambliopía, normalmente suele ir asociada con problemas de supresión que da lugar a un desequilibrio funcional entre ambos ojos y a la disminución de agudeza visual. La magnitud del estrabismo no correlaciona el grado de ambliopía (*Joly & Frankó, 2014*).

Este trastorno neurofuncional que se produce con el estrabismo durante los primeros años de vida provoca varias anomalías monoculares y binoculares como el fenómeno de amontonamiento, los déficits en la respuesta acomodativa, pérdida la sensibilidad al contraste y capacidad de motilidad ocular (*Milla & Piñero, 2020*).

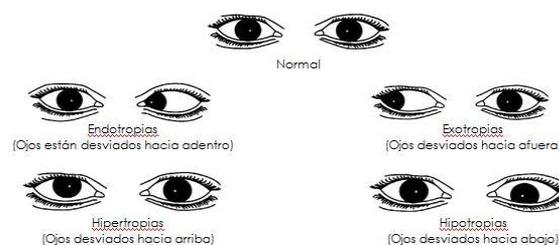


Figura 2: Tipos de estrabismos según la dirección de la desviación.

Imagen extraída a partir de: (*Tu vista sana*).

Cuando existe una visión normal, las imágenes formadas por cada ojo se dirigen al mismo sitio de la retina, en la fovea. El cerebro es capaz de fusionar las dos imágenes de cada fovea en una sola imagen tridimensional. Este proceso es el que proporciona una percepción de la profundidad.

En cambio, en el estrabismo, los diferentes estímulos que reciben los ojos impiden la fusión normal de las imágenes, lo que compromete la visión binocular y la capacidad de discriminar la disparidad y la profundidad de la visión, alterando la agudeza visual estereoscópica (estereopsis) e incluso de la estabilidad corporal (*Zipori et al., 2018*).

La ambliopía estrábica se asocia más a endotropías, que aparecen en casi el 80% de los casos, frente a un 16% de las exotropías. Esto es debido a que generalmente las exotropías suelen ser intermitentes mientras que las endotropías suelen ser constantes (*Von Noorden et al., 2002*).

Endotropía	Intermitente	No ambliopía
	Alternante	No ambliopía
	Unilateral constante	Ambliopía
Exotropía	Intermitente	No ambliopía
	Alternante	No ambliopía
	Unilateral constante	Ambliopía

*Tabla 1: Tipos de estrabismos primarios, con presencia o ausencia de ambliopía.*

*Información extraída a partir de (Ciuffreda et al., 1984).*

El estrabismo es el factor más asociado a la ambliopía durante el primer año de vida. La anisometropía, ya sea sola o en combinación con el estrabismo, pasa a ser igualmente importante como causa de ambliopía hacia el tercer año y, hacia el quinto, es el factor causante en casi dos tercios de los niños ambliopes (*Birch, 2013*).

#### 4.3.2.2. Ambliopía anisomètrica

Es unilateral y es una de las ambliopías más frecuentes. Se produce por una disminución de la nitidez de la imagen retiniana en un ojo y pérdida de visión binocular, incluyendo la reducción del tamaño de la imagen de la retina (aniseiconia), el contraste y la claridad. Dependiendo de su gravedad, al provocar supresión cortical, la imagen que recibe el ojo más amètrope está tan desenfocada que es incompatible con la otra imagen, y provocará ambliopía en el ojo con mayor error refractivo (*Chen et al., 2013; Levi et al., 2011*).

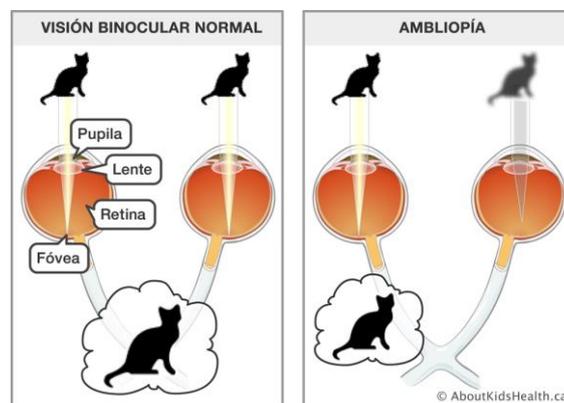


Figura 3: Comparación entre visión binocular normal y visión con ambliopía en el ojo derecho.

Imagen extraída a partir de ("*AboutKidsHealth*", 2009).

El término anisometropía se refiere a una diferencia de error de refracción esfero cilíndrica entre ambos ojos. Este término suele reservarse para las diferencias clínicamente significativas en el error refractivo que superan alguna cantidad de criterio, por ejemplo,  $\geq \pm 0,75D$  entre ambos ojos (*Barret et al., 2013*).

La prevalencia de ambliopía anisomètrica es de aproximadamente 7,8% en niños hispanos y puede ser hipermetròpica, miòpica o astigmàtica. El tipo más común de anisometropía parece variar con la edad, etnia y patologías oculares de la muestra analizada. Debido a que no presenta síntomas, es frecuente detectarla más tarde que la ambliopía estràbica (*Barret et al., 2013*).

La anisometropía hipermetròpica es la más probable de causar ambliopía, pudiéndose causar por una diferencia de 1D (*Barret et al. 2013; Ying et al., 2013*), ya que la retina del ojo más amètrope nunca recibe una imagen clara y definida: una vez la fóvea del ojo

bueno enfoca los detalles, no habrá estímulo para seguir acomodando y, así poder obtener el enfoque del más amétrope.

Ocurre lo contrario en la anisometropía miópica, pudiéndose causar a partir de diferencias de 3 o 4D (*Barret et al. 2013; Ying et al., 2013*), utilizará el ojo más amétrope para la visión de cerca y, por tanto, el menos amétrope para la visión de lejos. Por lo tanto, ambas retinas reciben una estimulación adecuada y evitando los mismos niveles de ambliopía que se observan con la hipermetrópica, obteniendo un mayor grado de desarrollo visual (*Toor et al., 2018*).

La severidad de la ambliopía no está directamente relacionada con la magnitud del grado de refracción en sí, sino con la cantidad de anisometropía entre los dos ojos. Levi et al. (2011) demostraron que la AV disminuye rápidamente al aumentar la magnitud de la anisometropía, pero eso sólo ocurre en isoametropías altas con niveles de refracción muy altos (> 15D), lo que sugiere que otros mecanismos además del desenfoque óptico, especialmente las interacciones binoculares anormales, están involucrados en el riesgo de ambliopía.

#### 4.3.2.3. Ambliopía por privación

Las principales enfermedades que lo provocan son cataratas congénitas, ptosis, obstrucciones en el vítreo, hemangioma, etc. y otros procesos patológicos que también pueden provocar ambliopía. Cuando ocurre durante el período crítico del desarrollo visual, puede causar ambliopía.

La ambliopía por privación puede ser unilateral o bilateral, con pérdidas de agudeza visual en uno o ambos ojos a pesar de la resolución de la patología ocular. Se sabe menos sobre el grado de afectación de la función binocular en la ambliopía por privación, aunque está claro que la estereopsis suele estar comprometida (*Hamm et al., 2014*).

También, se ha comprobado que altera la sensibilidad al contraste y estas alteraciones pueden ser graves, siendo más visible en los casos unilaterales que en los bilaterales. Sin embargo, la severidad de la pérdida de visión está muy unido a la edad de inicio y a la duración de la privación (*Hamm et al., 2014*).

## 5. EVALUACIÓN DEL OJO AMBLIOPE

Es importante conocer las afectaciones funcionales que puede presentar un paciente con ambliopía antes de prescribir un tipo de tratamiento.

### 5.1. Error refractivo

En general, el factor principal que produce la ambliopía es un error refractivo no corregido por lo cual no se obtienen imágenes retinianas claras de igual tamaño o forma en cada ojo. Estas imágenes no permiten una estimulación adecuada del sistema visual.

Una diferencia significativa en el error de refracción (anisometropía) o un gran grado de error de refracción en ambos ojos (isoametropía) influye a desarrollar ambliopía. La anisometropía puede producirse en el marco de una miopía asimétrica, una hipermetropía o un error astigmático (ver apartado 4.3.2.2.) (*Kraus & Culican, 2018*).

El primer paso para la corrección del error refractivo es prescribir la corrección óptica adecuada, para así mejorar la AV. Sin embargo, el que se vean resultados dependerá del cumplimiento de los pacientes.

Uno de los obstáculos por el incumplimiento del tratamiento con gafas es la formación de aniseiconia visualmente significativa. Entre 2 o 3 D de anisometropía inducen un 5%-6% de aniseiconia, una cantidad de disparidad de imagen difícil de resolver para el cerebro (*Kraus & Culican, 2018*).

### 5.2. Agudeza Visual

La agudeza visual (AV) es un procedimiento clínico estándar que se define como la capacidad que tiene el sistema visual para discriminar y diferenciar objetos y/o letras más pequeñas en un gráfico a cierta distancia. Su determinación se realiza tanto en visión lejana (5 o 6 metros) como en visión próxima (distancia habitual de trabajo del paciente), y tanto monocular como binocularmente (*Borrás et al., 1996; Li et al., 2011*).

Para un desarrollo visual normal se necesita una estimulación visual adecuada, que incluya imágenes claras de la retina, la misma claridad de imagen en ambos ojos y una alineación ocular adecuada. Los niños menores de 7 años a los que no se les

proporciona una estimulación visual adecuada son vulnerables a la ambliopía, y cuanto antes se inicie la estimulación visual anormal, mayor será el déficit visual, es decir, peor AV en el ojo ambliope (*Park, 2019*).

Un fenómeno que suelen tener los pacientes ambliopes (sobre todo los estrábicos) es el amontonamiento (*Levi, 2008; Milla & Piñero, 2020*). Este fenómeno causa que tengan mejor AV cuando las letras se presentan de forma aislada que cuando se presentan en conjunto o en una línea (*Holmes & Clarke, 2006; Levi & Li, 2009; Li et al., 2011*). Clínicamente, este fenómeno de amontonamiento es un signo útil para ayudar en el diagnóstico de la ambliopía (*Levi & Li, 2009*).

### 5.3. Otras funciones visuales a evaluar:

#### Binocularidad

La visión binocular es la suma del equilibrio sensorial y motor. La primera experiencia binocular comienza al nacer y el desarrollo es casi completo a los 24 meses de edad. En esta etapa, cualquier obstáculo que impida al cerebro recibir correctamente una imagen nítida y similar de cada ojo, crea un desequilibrio funcional entre ambos ojos y puede conducir al desarrollo de la ambliopía. En función de qué condición presenta, podemos distinguir entre los tipos de ambliopía (*Milla & Piñero, 2020*).

Un buen equilibrio anatómico y fisiológico de ambos ojos no es el único requisito para una visión binocular funcional también, es importante y necesario un correcto desarrollo de todas las funciones monoculares.

La presencia de ambliopía no supone una ausencia total de binocularidad. Por tanto, puede haber ambliopía anisométrica sin estrabismo asociado y cierto grado de binocularidad. Ésta puede no ser muy buena, porque la percepción continua de imágenes borrosas no permitirá obtener una buena agudeza estereoscópica, pero es necesario determinar su existencia para orientarnos a formular la estrategia de tratamiento más adecuada y el modo de oclusión más conveniente. Cuando hay estrabismo, no se puede suponer que no haya binocularidad en absoluto, porque en algunos casos puede haber cierto grado de fusión periférica o correspondencia sensorial anormal (*Borrás et al., 1996*).

El cover test, el punto próximo de convergencia, las flexibilidades de vergencia y la estereoagudeza serán exámenes indispensables para descartar o hacer una primera aproximación a los posibles problemas de binocularidad existentes (*Borrás et al., 1996*).

### Acomodación

La ambliopía, a parte del efecto negativo en la AV, también crea una respuesta acomodativa desigual entre ambos ojos. Existe una marcada limitación de la respuesta acomodativa en casi toda la gama de frecuencias espaciales debido a una experiencia visual casi anormal asociada a la presencia de estrabismo y/o anisometropía, con un efecto prolongado en el sistema visual sensorial (*Milla & Piñero, 2020*).

En el ojo ambliope existen unas disfunciones acomodativas características (*Borrás et al., 1996*):

1. La **amplitud de acomodación es desigual** entre ambos ojos; cuanto antes comienza la experiencia visual anormal, esta diferencia será más significativa.
2. La **relación estímulo-respuesta es anormal**. En niveles normales de estimulación en visión próxima, entre 1,5 y 5 D, la respuesta acomodativa se reduce significativamente, es decir, el retraso acomodativo es mayor.
3. La **acomodación es imprecisa**, ya que, si se agregan lentes positivas o negativas para cambiar el valor del estímulo, la acomodación no responde en la misma medida. Se han encontrado resultados similares en pacientes con patología macular o de nervio óptico. Estas similitudes pueden deberse a la falta de información de los conos retinianos centrales.

El tratamiento para mejorar la acomodación es bastante positivo, por lo que se ha conseguido resultados sorprendentes en las anomalías de acomodación del ojo ambliope. Logra aumentar la amplitud de acomodación hasta los valores fisiológicamente normales acorde con la edad del paciente, y también normaliza el valor del retraso de la acomodación. Además, los exámenes de acomodación son útiles para controlar las mejorías y regresiones del ojo ambliope durante o después del tratamiento. Los estudios han demostrado que las mejoras en las habilidades de acomodación pueden preceder a mejoras en la AV y, lo que es más importante, que las regresiones

en la amplitud de acomodación suelen preceder a regresiones en la AV (*Ciuffreda et al., 1984*).

### Motilidad ocular

La motilidad ocular es el movimiento automático, espontáneo y coordinado de los ojos que favorece al cerebro a componer una imagen tridimensional buena. Para realizar correctamente estos movimientos es preciso que los músculos de los ojos tengan un óptimo funcionamiento (*Milla & Piñero, 2020*). Las alteraciones del comportamiento de la motilidad ocular es otro trastorno de la ambliopía, sobretodo en las estrábicas.

Las disfunciones de la motilidad ocular que pueden afectar al ojo ambliope son (*Borrás et al., 1996*):

- **Movimientos de fijación** donde aparecen intrusiones sacádicas, que son movimientos sacádicos que desplazan el objeto fijado fuera del eje visual, seguido de aproximadamente 200 ms después por un movimiento sacádico de retorno.
- **Movimientos sacádicos** se encuentra un aumento en el tiempo de latencia (aprox. en 100 ms), esto quiere decir que, aumenta el tiempo que pasa entre el cambio de estímulo y el comienzo del movimiento sacádico.
- **Movimientos de seguimiento** se encuentra una disminución de la velocidad crítica, por lo cual el movimiento de seguimiento se ayuda de un movimiento sacádico o se sustituye por uno.

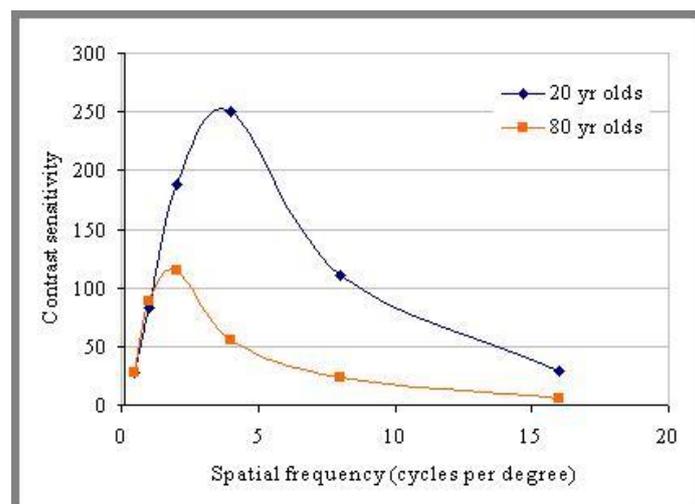
Puede existir una asimetría del movimiento en direcciones opuestas nasal-temporal, esto ocurre principalmente en casos de estrabismos con fijación excéntrica. La fijación excéntrica tiene su origen en un aumento del tiempo de reacción de los sacádicos para iniciar un movimiento y en sacádicos asimétricos para seguir los movimientos durante la lectura (*Milla & Piñero, 2020*).

### Sensibilidad al contraste

La sensibilidad al contraste (SC) se puede definir como la capacidad de una persona para detectar o identificar la presencia de mínimas diferencias de luminosidad ya sea objetos o áreas. Es decir, esta prueba representa el menor contraste que el sistema visual puede detectar. La SC evalúa subjetivamente la función visual a través de la percepción de las frecuencias espaciales (tamaño) y contraste (*Bermúdez et al., 2007; López, 2009; Piñeros & Salamanca., 2014*).

El uso de la prueba de medición de SC en entornos clínicos se ha documentado en diversas enfermedades oculares como problemas de refracción, enfermedades de la córnea, presencia de lentes intraoculares, envejecimiento ocular (glaucoma, degeneración macular relacionada con la edad), uso de lentes de contacto y sequedad ocular (*Piñeros & Salamanca, 2014*).

La edad juega un papel importante en la SC. Las personas pierden SC a medida que envejecen, debido a la pérdida de otras capacidades visuales como la acomodación o la transparencia del cristalino, u otras patologías oculares que la persona pueda presentar. Es por eso que es una función que depende de la edad, tal como se observa en la curva que se obtiene al registrar los hallazgos en el formato de evaluación, encontrando una disminución principalmente en las frecuencias espaciales medias y altas, en las personas de mayor edad (*Bermúdez et al., 2007*).



*Figura 4: Sensibilidad al contraste vs. Edad.*

*Imagen extraída a partir de: (Rollero, 2020).*

Esta prueba se realiza para tener una mejor caracterización de como se ve disminuida la calidad visual en los casos de ambliopía, ya que puede brindar una información que revela condiciones en las pérdidas de visión no identificables mediante la medida de la AV (Medrano et al., 2011). La sensibilidad al contraste es una característica fundamental del sistema visual y la medida más importante en la visión espacial (Zhou et al., 2005).

El test de Funcionalidad de Sensibilidad al Contraste (CSF) es la representación de la evaluación de la SC en diferentes frecuencias espaciales y con diferentes grados de contraste. Es un parámetro que sirve para evaluar la calidad del sistema visual, ya que proporciona una información subjetiva puesto que tiene en cuenta factores ópticos como también de procesado neural (Piñeros & Salamanca, 2014).

Existen dos formas básicas de valorar el contraste: por medio de rejillas de enrejado o por medio de letras de contraste decreciente. Hoy en día existen numerosos optotipos en el mercado.

- Rejillas sinusoidales producidas electrónicamente o en cartillas impresas. En esta se encuentran: el test Vision Contrast Test System (VCTS), el Functional Acuity Contrast Test (FACT) y el Test CSV-1000 (López, 2009; Piñeros & Salamanca, 2014).
- Cartillas con letras del mismo tamaño, pero con contraste decreciente. En estas cartillas están: el test de Pelli-Robson, que es el más extendido y el más usado, el test de Contraste de Lighthouse y el LEA Vision Screening Card (López, 2009; Piñeros & Salamanca, 2014).

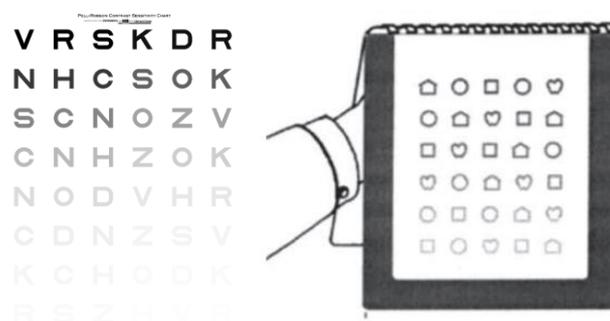


Figura 5: Test de sensibilidad al contraste, Pelli-Robson (a) y LEA (b). Tipo cartillas de letras.

Imágenes extraídas a partir de (Pelli, 1997).

Es importante el tipo de iluminación que rodea al test a la hora de realizarlo. Cuando se utiliza test de enrejados las condiciones de iluminación deben estar cuidadosamente controladas para que la respuesta no se vea afectada por iluminación, mientras que para la cartilla de letras no son necesarias condiciones de iluminación especiales (López, 2009).

La SC es una prueba muy importante que se debe realizar a pacientes con riesgo de ambliopía ya que proporciona información que revela la pérdida de visión inidentificable mediante la medición de la AV, ya que ambas evalúan diferentes aspectos de la visión (Medrano et al., 2011). Además, ayuda a ampliar la precisión diagnóstica y tener un seguimiento de la evolución del tratamiento (Bermúdez et al., 2007).

Los resultados de la prueba de sensibilidad al contraste se encuentran generalmente disminuidos en pacientes ambliopes. Mayoritariamente, las frecuencias bajas se encuentran en la zona de normalidad y las altas frecuencias están muy disminuidas, esto se relaciona con la baja agudeza visual. A diferencia de un ojo normal, aunque dentro de los valores de normalidad, se encuentran disminuidas hacia las frecuencias medias y altas (Medrano et al., 2011). Pero, mediante oclusión y terapia visual estos resultados alterados de la sensibilidad al contraste, pueden mejorar (Zipori et al, 2018).

Las frecuencias espaciales bajas se relacionan con las formas y contornos de las escenas, mientras que las altas frecuencias se relacionan con los detalles.

La relación entre la frecuencia espacial y la AV es:

$$f(c/g) = \frac{\text{ciclos}}{\text{grado}} = \frac{1 \text{ ciclo}}{2u(^{\circ})} = \frac{1}{2u(^{\circ})} \cdot \frac{60'}{1^{\circ}}$$

$$AV = \frac{1}{u(^{\circ})}$$

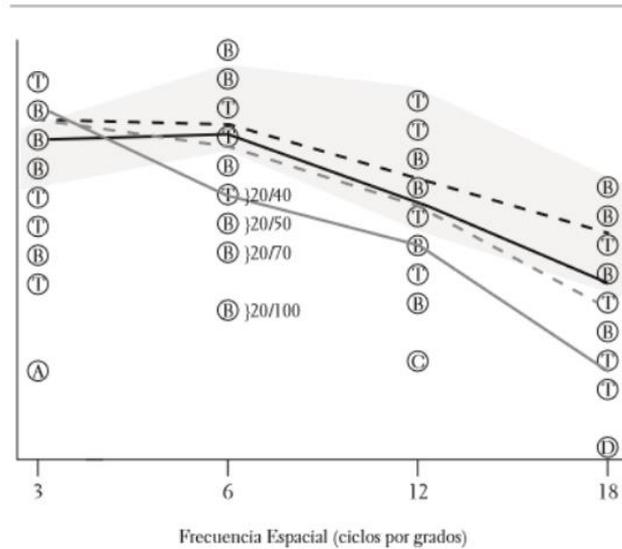


Figura 6: Curvas de sensibilidad al contraste con el CSV 1000E para ojos ambliopes (líneas continuas) y sanos (líneas discontinuas), antes del tratamiento (gris) y después del tratamiento (negro).

Gráfico extraído a partir de (Medrano et al., 2011).

Aunque tanto la ambliopía estrábica como en la anisométrica presentan una mayor insuficiencia en AV que en SC, en comparación con los ojos normales, presenta una disminución relevante (Bermúdez et al., 2007). A pesar de esto, la sensibilidad al contraste en la ambliopía estrábica se ve menos afectada que en la ambliopía por privación o anisométrica (Zipori et al., 2018; Milla & Piñero, 2020).

### Estereopsis

La estereopsis es la capacidad de percepción para distinguir pequeñas diferencias de profundidad entre objetos, sobre la base de disparidad binocular (Jeon et al., 2017). Esta disparidad, es un parámetro que algunas células corticales del córtex visual codifican con el fin de obtener información sobre la posición relativa de los objetos, como resultado de la estereopsis (Pons et al., 2004). La estereopsis se produce cuando las imágenes con disparidad horizontal se localizan en el mismo lugar de la retina correspondiente a cada ojo, esta fusión provoca la visión estereoscópica y produce la percepción de profundidad (Jeon et al., 2017).

La alteración de la estereopsis es el déficit más común asociado a la ambliopía (Moreno, 2016). En general, presentan una mala estereoagudeza debido a la correlación que

tiene con la AV, también mala, debido a que la función binocular es anormal (Levi et al., 2015; Jeon et al., 2017). La estereopsis también disminuye más por el desenfoque monocular (o por la reducción del contraste monocular) que por el desenfoque de ambos ojos, por lo que cabe destacar que muchos anisométricos conservan la estereopsis. Es por eso, que la estereoagudeza de los ambliopes anisométricos puede ser tan buena como la resolución de su ojo más anisométrico lo permita (Levi et al., 2010).

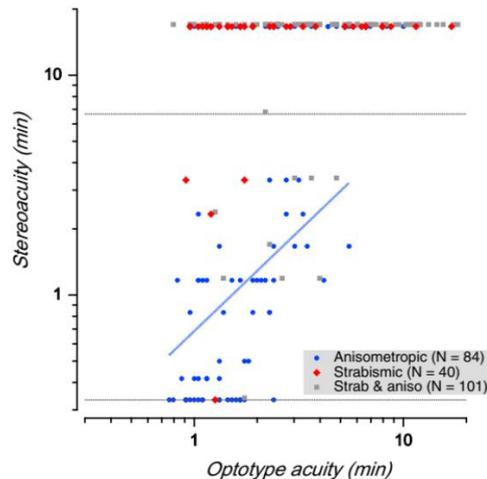


Figura 7: Estereoagudeza vs. AV. Las líneas horizontales grises muestran los límites superior e inferior de la prueba.

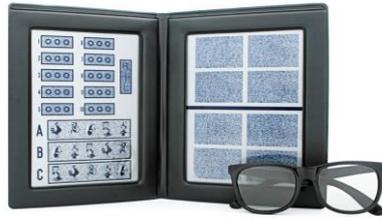
Gráfico extraído a partir de (Levi et al., 2015).

A diferencia de los ambliopes anisométricos que conservan algo de estereopsis, muchos ambliopes con estrabismos constantes y buena AV, suelen ser estereociegos (Levi et al., 2010; Levi et al., 2015).

McKee et al. (2003) descubrieron que más del 50% de los ambliopes anisométricos superaron la prueba de los círculos de Randot, en comparación con sólo un 10% de los ambliopes estráxicos.

Actualmente hay muchos tests en el mercado, pero los más conocidos son:

- El test de Randot es una prueba que presenta círculos contorneados en diez niveles de disparidad discretos (de 20 a 400 seg de arco). La tarea del paciente consiste en elegir cuál de los tres círculos de cada nivel de disparidad parece estar sobresaliendo. El test y las gafas polarizadas proporcionan imágenes separadas a los dos ojos (Levi et al., 2015).



*Figura 8: Test de estereopsis Randot.*

*Imagen extraída a partir de (Stereo Optical).*

- El test de TNO consiste en siete láminas impresas como anáglifos rojo/verde, que se observan a través de gafas verde/rojo. Las tres últimas láminas contienen cuatro círculos, cada uno de ellos con una zona faltante (como la figura de un "comecocos") en cuatro posiciones diferentes. Las disparidades de los discos van de los 15 a los 480 seg de arco (Arias-Díaz et al., 2013). Cuando se está realizando la prueba, las láminas deben estar bien iluminadas y deben mostrarse a una distancia aproximada de 40 cm.



*Figura 9: Test de estereopsis TNO.*

*Imagen extraída a partir de (Berri.es - librería médica).*

## 6. TRATAMIENTOS DE LA AMBLIOPÍA

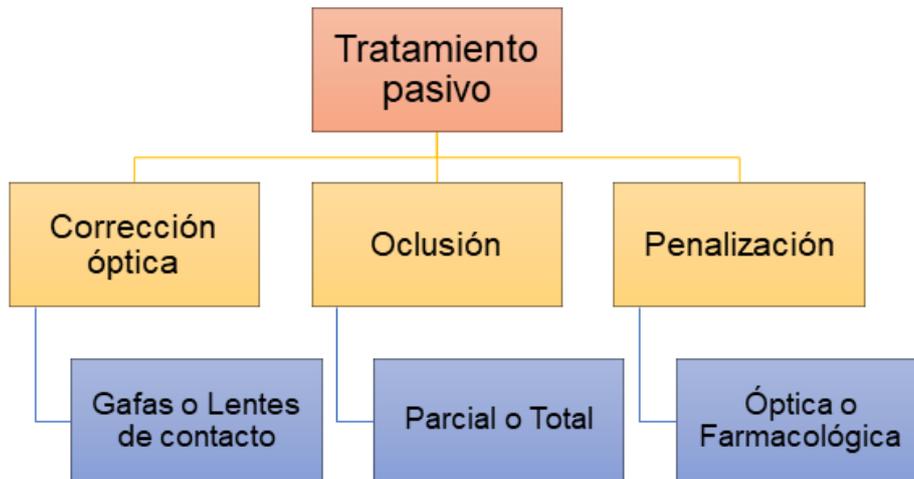
Como se ha comentado anteriormente, la ambliopía se desarrolla como resultado de una experiencia visual anormal durante el "periodo sensible", aunque los mecanismos neurales de la ambliopía aún no están del todo claros. En la práctica clínica, generalmente, sólo se trata a los ambliopes de bebés y niños pequeños, mientras que los niños mayores (>8 años) y los adultos no reciben tratamiento porque se cree que las distintas terapias ya no son eficaces para ellos (*Zhou et al., 2005*).

Pero, en un gran estudio multicéntrico realizado por el PEDIG en 2005 se encontró que el 50% de los niños de entre 7 y 12 años que se sometieron a tratamiento de la ambliopía, como la oclusión o la atropina, tuvieron una mejora significativa de la AV en comparación con otro grupo al que sólo se le prescribieron corrección óptica. Sin embargo, los resultados no fueron significativos para los niños de más de 12 años, pero aun así podían conseguir una mejoría en su AV (*Maconachie & Gottlob, 2015*).

En primer lugar, en la mayoría de casos de ambliopía, se corrige el defecto refractivo encontrado en el examen de la refracción, y en función de la severidad se combina con oclusiones del ojo sano. Posteriormente, una vez pasado un tiempo y el sistema visual se acostumbra a llevar la nueva refracción, y se van igualando las agudezas visuales, se empieza a realizar terapia visual.

Además, es muy importante remarcar que estos tratamientos no son excluyentes, es decir, se pueden combinar ambos tratamientos con el fin de conseguir un tratamiento más eficaz y estable para la ambliopía (*Carrasco, 2020*).

## 6.1. TRATAMIENTO PASIVO



### 6.1.1. Corrección óptica

Es lo primero que se debe tener en cuenta a la hora de realizar el tratamiento de la ambliopía. El tratamiento con corrección óptica se puede definir como el efecto a largo plazo de poner una imagen enfocada en la retina del ojo ambliope, junto con el efecto inmediato de corregir el desenfoque óptico (Holmes & Levi, 2016).

Lo recomendable es prescribir la máxima magnitud que sea posible de las ametropías de uno o ambos ojos (tanto del ojo no ambliope como del ambliope) (Maconachie & Gottlob, 2015) así producirá una respuesta acomodativa igual, como también una buena y estable AV (Milla & Piñero, 2020).

La mejora instantánea de la AV al corregir el desenfoque con corrección óptica no se puede considerar "tratamiento" de la ambliopía como tal, pero sí, la progresiva mejora de la AV a lo largo de semanas y meses, mientras se lleva la nueva corrección refractiva (Holmes & Levi, 2016).

Stewart et al. (2004) proporcionaron pruebas de que la corrección óptica puede, con el tiempo, mejorar significativamente la visión del ojo ambliope, tanto si es ambliopía anisométrica, estrábica o mixta.

Esta mejora se puede observar las primeras semanas de llevar la corrección óptica. Esta fase se la conoce como tratamiento óptico o adaptación refractiva, y se observa su

funcionamiento de manera gradual, siendo más visible entre las semanas 4 y 12, para después ir mejorando más lentamente, a partir de la 15 semana (*Koo et al., 2016*). Gracias a los estudios que se han realizado se sabe que el tratamiento se puede continuar hasta 30 semanas, pero siendo lo más recomendable entre 18-22 (*Papageorgiou et al., 2019*).

Es importante prestar especial atención a la presencia de astigmatismo y hacer los ajustes oportunos tanto en eje como potencia a medida que los infantes crezcan, ya que el ojo ambliope siempre debe de compensarse con la refracción que le aporte la mejor agudeza visual (*Maconachie & Gottlob, 2015*).

El estudio realizado por Moseley et al. (2002) informaron de los resultados de 13 ambliopes anisométricos y estrábicos a los que se les prescribió solamente corrección refractiva como tratamiento, y mostraron por primera vez que las personas ambliopes pueden obtener mejoras significativas en el resultado visual sólo con corrección refractiva. De modo que, casi un tercio de los niños podrían no necesitar el tratamiento de oclusión o penalización.

También, se han encontrado estudios donde se recomienda el tratamiento óptico para niños mayores de 7-8 años y adultos con ambliopía unilateral. Esto es debido a que, un tercio de los pacientes demostraron obtener una mejora de la AV del ojo ambliope de una o dos líneas en un período corto de tiempo con el tratamiento. Aunque, la gran mayoría necesitarán un tratamiento adicional (*Papageorgiou et al., 2019*).

Es por eso, que corregir los errores refractivos incluso antes de que se desarrolle la ambliopía puede ser muy importante para prevenirla (*Holmes & Levi, 2016*).

### 6.1.2. Oclusión

Cuando el tratamiento de corrección óptica es insuficiente para la mejora de la ambliopía, la oclusión es el siguiente paso (*Matta et al., 2010*).

La oclusión del ojo no ambliope es la forma más común y conocida de tratamiento para la ambliopía durante los últimos años (*Pescosolido et al., 2014; Maconachie & Gottlob, 2015; Matta et al, 2017; Stewart et al., 2017; Zhou et al., 2019; Milla & Piñero, 2020*).

Esta técnica consiste en el uso de un parche que tapa de forma completa el ojo no ambliope, mientras el ojo ambliope lleva la corrección óptica. En general, la AV mejorará en los pacientes con ambliopía después de la terapia de oclusión si se inicia el tratamiento antes de finalizar el período sensible (*Lee et al., 2003*).

Es efectiva en más de un 53% de los casos para mejorar la AV del ojo ambliope en más de 2 líneas, pero, su eficacia es mucho menor a partir de niños mayores de 10 años (*Zhou et al., 2019*).

Dentro de este tratamiento podemos encontrar dos subgrupos según el tiempo prescrito para el uso del parche:

- Oclusión total: oclusión constante del ojo no ambliope.
- Oclusión parcial: oclusión de un mínimo de 2 horas del ojo no ambliope.

Hasta ahora, la terapia de oclusión se prescribía basándose en la experiencia clínica y no en pruebas científicas. Esto generaba una amplia variación entre los profesionales sobre cómo se debería tratar clínicamente a los pacientes ambliopes y sobre la duración de la prescripción del parche (*Matta et al., 2013; Maconachie & Gottlob, 2015*).

Es por eso que, hay muchos estudios que tratan de observar qué similitudes y diferencias hay entre prescribir un tiempo u otro. Uno de ellos es el estudio realizado por Holmes et al. (2003), donde los resultados obtenidos informan que la AV en el ojo ambliope dio una mejora similar entre utilizar parche a tiempo completo o 6 hora/día. El primer grupo, el de parche tiempo completo, tuvo una mejora de 4.7 líneas, muy similar a lo que ocurrió en el otro grupo, parche 6 hora/día, con una mejora de 4.8 líneas.

Según toda la literatura revisada sobre el parche en la ambliopía, la opción más adecuada es prescribir de 2 a 6 horas de oclusión en la ambliopía moderada. La combinación de 6 horas de oclusión y actividades de cerca o terapia visual es el protocolo más óptimo a seguir en la ambliopía severa o grave (*Maconachie & Gottlob, 2015; Milla & Piñero, 2020*).

Si se prescribe un parche como tratamiento, la cantidad de tiempo prescrita debe basarse en el juicio clínico del profesional, siendo la oclusión a tiempo parcial un método razonable. Si se inicia la oclusión a tiempo parcial y el paciente no consigue una mejora

adecuada de su agudeza visual, aumentar el tiempo de llevar el parche puede ser útil (*Matta et al., 2013*).

Las lentes de contacto (LC) pueden ser otra opción en el tratamiento de la ambliopía mediante oclusión, ya que, se ha podido comprobar que con ellas se puede disminuir la AV del ojo no ambliope entre un 0.25 y 0.03. Las LC pueden ser más atractivas desde el punto de vista estético para los niños y, por tanto, pueden mejorar el cumplimiento de las horas y uso del tratamiento. Los riesgos asociados al uso de lentes de contacto en el ojo sano deben tenerse en cuenta al utilizar esta opción (*Matta et al., 2013*).

### 6.1.3. Penalización

#### Penalización óptica

El objetivo principal de la penalización óptica es el cambio de enfoque de la imagen del ojo dominante mediante la sobrecorrección óptica y, así, estimular la visión del ojo ambliope (*Pescosolido et al., 2014; Milla & Piñeros, 2020*).

La penalización óptica tiene una alta aceptabilidad, y se ha llegado a utilizar sola como alternativa para tratar la ambliopía. Además, también se ha utilizado como tratamiento de mantenimiento tras el tratamiento de la oclusión, e incluso para mejorar la inestabilidad motora en pacientes estrábicos. Sin embargo, la penalización óptica mínima requerida para un tratamiento óptico no está clara y definida, oscilando en los estudios entre +3,00 y +1,25 D (*Milla & Piñeros, 2020*).

La penalización óptica se ha utilizado a menudo en niños que han sido tratados con atropina, pero que no han conseguido una AV normal en el ojo ambliope. Es por eso, que se ha pensado que la atropina y la penalización óptica podrían ser complementarias como terapia combinada (*Papageorgiu et al., 2019*). Pero, estudios concluyeron que la penalización con atropina era mejor para los pacientes con ambliopía grave o severa ( $AV < 0,3$ ), mientras que la penalización óptica era mejor para los pacientes con una ambliopía menor ( $AV$  entre 0,3 y 0,8), es decir, leve o moderada (*Pescosolido et al., 2014; Papageorgiu et al., 2019*).

Especialmente en los casos de ambliopía anisométrica moderada, la penalización óptica parece ser eficaz como tratamiento primario, como tratamiento de mantenimiento o como alternativa tras el fallo con la oclusión, y puede combinarse con la penalización con atropina. Todos los estudios han señalado que la AV del ojo no ambliope debe vigilarse cuidadosamente cuando el tratamiento con atropina se aumenta junto con la hipocorrección de la hipermetropía en este ojo, ya que hay informes de que puede aparecer ambliopía inversa. Otra preocupación importante de la penalización óptica es el efecto sobre la alineación del ojo en niños con endotropía acomodativa (*Papageorgiu et al., 2019*).

#### Penalización farmacológica

El tratamiento farmacológico se prescribe utilizando una variedad de sistemas de dosificación para el ojo no ambliope. Tradicionalmente, se utilizaba la dosificación diaria y se ha demostrado que es tan eficaz como el parche para el tratamiento inicial (*Gopal, et al., 2019*).

La **atropina** es usada frecuentemente como alternativa a la oclusión. La función de la atropina (1%) es la de desenfocar la visión en el ojo no ambliope paralizando los músculos ciliares que controlan la acomodación y la constricción de la pupila (*Papageorgiu et al., 2019; Maconachie & Gottlob, 2015*).

La penalización con atropina como tratamiento primario de la ambliopía estrábica y/o anisométrica ha demostrado ser tan eficaz como la oclusión. Además, la aceptación y el cumplimiento del tratamiento por parte de los pacientes de la penalización con atropina es superior a la de la oclusión (*Li & Shotton, 2009*). Aunque, se ha observado en los estudios que ambos tratamientos presentan una mejora similar y que son adecuados para el tratamiento inicial de la ambliopía moderada en niños de 3 a 7 años (*Papageorgiu et al., 2019*).

Los estudios realizados por la PEDIG (2003) han demostrado que la atropina administrada los fines de semana una vez a la semana proporciona una mejora de la AV similar a la proporcionada por la atropina diaria en niños de 3 a 7 años con ambliopía estrábica y/o anisométrica moderada. Esto concuerda con lo que dice el artículo de Gopal et al. (2019), donde concluyeron que la atropina (1%) administrada dos días

consecutivos por semana durante 4 meses fue tan eficaz como la atropina (1%) administrada una vez al día para la ambliopía moderada, tratada durante 4 meses. Además, se encontró una mejora de 4,5 líneas con la administración de dos dosis semanales en niños de 3 a 12 años de edad con ambliopía grave.

Del mismo modo, los niños de 3 a 12 años con ambliopía estrábica y/o anisométrica grave también pueden ser tratados eficazmente con atropina durante el fin de semana, pudiéndose encontrar una mejoría mayor en los niños más pequeños (*Papageorgiu et al., 2019*). Es importante controlar la agudeza del ojo sano cuando se prescribe lentes más positivas de las que necesita para aumentar el efecto del tratamiento de la atropina (*PEDIG, 2003*).

La **levodopa** es el fármaco más utilizado en el tratamiento de la ambliopía y es un agente del sistema nervioso central que actúa como aminoácido precursor de la dopamina en el cerebro (*Maconachie & Gottlob, 2015; Kraus & Culican; 2018*). La dopamina es un neurotransmisor presente en la vía visual que se ha demostrado, con el uso de un modelo animal, que se reduce en la ambliopía (*Maconachie & Gottlob, 2015*). Dado que la dopamina por sí misma no puede penetrar la barrera hematoencefálica, la levodopa se adopta habitualmente en la práctica clínica para el tratamiento de patologías neurológicas. Además, suele administrarse en combinación con la **carbidopa**, un fármaco que impide la conversión periférica de la levodopa en dopamina y que, por tanto, permite reducir la concentración del fármaco administrado (*Vagge et al., 2020*).

En 1990, Gottlob y Stangler-Zuschrott describieron por primera vez el uso de levodopa en la ambliopía estrábica severa y estrábica con anisometropía e informaron de una mejora significativa en los escotomas de supresión y en los resultados de la sensibilidad al contraste cuando se trataba con levodopa (*Maconachie & Gottlob, 2015; Kraus & Culican; 2018; Vagge et al., 2020*). Además, se ha observado que la administración de levodopa produce un grado modesto de mejora de la agudeza visual (2,7 líneas) y de la sensibilidad al contraste (72%), en niños mayores y adolescentes (*Sofi et al., 2016*).

En 2015, el PEDIG organizó un ensayo aleatorio de levodopa para el tratamiento de la ambliopía con un grupo de pacientes mayores (niños de 7 a 12 años), donde prescribieron levodopa diaria con carbidopa además de 2 h/día continuas de oclusión. Finalmente, no observaron una mejora clínicamente significativa de la AV, 17% en el

grupo de levodopa y 22% en el grupo placebo, con lo que habían prescrito. En cambio, en el estudio realizado por Sofi et al. (2016) evaluaron a niños que habían sido tratados con corrección óptica, donde se les prescribieron oclusión a tiempo total y más tarde se les asignó al azar levodopa o placebo. Después de un año de seguimiento, pudieron comprobar las mejoras significativas de la AV (media LogMar > 0.5); sin embargo, la dosis de levodopa fue tres veces mayor (de 4.1 a 6.6 mg/kg/day por 12 semanas) que en el estudio del PEDIG (levodopa oral 0.76 mg/kg con carbidopa 0.17 mg/kg).

La **citicolina** es una biomolécula muy compleja que participa en el metabolismo celular, interviniendo en la biosíntesis de la fosfatidilcolina, fosfolípido que forma parte de las membranas celulares (Vagge et al., 2020). Y, debido a su estructura, aporta propiedades colinérgicas y neuroprotectoras (Kraus & Culican, 2018; Gopal et al., 2019).

En un ensayo clínico realizado por Pawar et al. (2014) se comparó la eficacia que tenía la combinación de la citocolina con la oclusión. Un primer grupo fue tratado con esta combinación y, el segundo grupo fue tratado únicamente con oclusión. La conclusión a la que llegó el ensayo después de 12 meses de estudio fue que, la terapia combinada mostró una mejora significativa de la AV en comparación del tratamiento sólo con oclusión.

La **fluoxetina** es un inhibidor selectivo de la recaptación de serotonina, que aumenta los niveles extracelulares de esta y, además, de la noradrenalina. Se adopta como antidepresivo en la práctica clínica (Vagge et al., 2020).

Sharif et al. (2019) realizaron un ensayo clínico en 40 pacientes ambliopes entre las edades de 10 y 40 años. Los separaron en 2 grupos: el primero con tratamiento de fluoxetina y, el segundo, tratamiento de placebo. Ambos grupos combinados con oclusión diaria de 4 a 6 horas. Tras 3 meses de estudio, se observó que la AV mejoró significativamente (2,4 líneas) en el primer grupo en comparación con el segundo grupo (1,2 líneas).

Lo que demuestra un papel potencialmente prometedor de este fármaco para tratar la ambliopía en adolescentes y también en adultos jóvenes (Vagge et al., 2020).

A parte de las ventajas en la AV también, se encuentran algunos inconvenientes asociados a la penalización farmacológica que son (Holmes & Levi, 2016):

- Limitación por el no total cumplimiento debido a que los infantes se resisten a la aplicación del fármaco.
- Los niños en edad escolar deben depender de su ojo ambliope para realizar sus tareas escolares (a menos que se les prescriba un par de gafas aparte para leer) dado que el ojo sano está penalizado durante todo el día.
- Difícil detección de la ambliopía inversa en niños menores de tres años debido a que no suelen completar las pruebas de AV.

## 6.2. TRATAMIENTO ACTIVO

El tratamiento de la ambliopía habitualmente consiste en utilizar sobretodo el tratamiento pasivo, como la oclusión o la atropina. Pero, hoy en día también hay otros tratamientos que intentan completar o incluso sustituir a esos tratamientos pasivos, que son los tratamientos activos.

El tratamiento activo requiere alguna actividad por parte del paciente, buscando mejorar el tratamiento de la ambliopía en diferentes formas como mejorando el cumplimiento y la atención durante el periodo de tratamiento. Por ejemplo, el tratamiento activo puede implicar que el paciente complete rompecabezas de palabras, dibujos punto a punto o coloree partes de patrones (*Suttle, 2010*).

A continuación, se muestran las diferentes formas de realizar el tratamiento activo:

### **Pleópticos**

El uso de técnicas pleópticas tiene como objetivo favorecer el uso de la fóvea en ambliopes con fijación excéntrica. Dentro de esta técnica se incluyen algunos métodos (*Suttle, 2010*):

- Método Cuppers: implica la generación de una post-imagen alrededor de la mácula e instruir al paciente para que vea objetivos, como letras dentro de la imagen, para así asegurar el uso de la fóvea.
- Método de Bangert: implica la adaptación a la luz de una región retiniana no foveal utilizada para la fijación, seguida de imágenes de los objetivos en la fóvea,

de modo que se anima al paciente a ver estos objetivos con la fovea y no con la región excéntrica.

- Oclusión inversa: implica la oclusión del ojo ambliópico antes y entre las sesiones del tratamiento hasta que el paciente comience a obtener fijación foveal. A partir de ese momento, se ocluye el ojo no ambliópico.

En el estudio realizado por Véronneau-Troutman et al. (1974) se comparó la oclusión convencional (ocluir ojo no ambliope) con la terapia pleóptica con el método de oclusión inversa en 90 niños de entre 5 y 14 años. Aunque ambos grupos mostraron mejoras en la AV después de la terapia, las del grupo de oclusión convencional fueron significativamente mayores en comparación con el otro grupo.

En la gran mayoría de los estudios comparativos con la terapia pleóptica se encuentran resultados que indican que ésta no es un tratamiento que presente beneficios en la ambliopía (Suttle, 2010).

### **Actividades en visión próxima**

El tratamiento activo involucra actividades en visión próxima, como se ha comentado antes, pueden ser completar rompecabezas, leer, escribir y/o leer.

En un estudio realizado por el PEDIG (2005) se comparó las actividades de cerca con las de lejos en el tratamiento de la ambliopía en 64 niños de entre 3 y 7 años. A todos ellos se les prescribió oclusión de dos horas al día y se les separó en dos grupos: realización actividades de cerca (rompecabezas y juegos de ordenador) y realización actividades de lejos. Como resultado, el grupo de actividades de cerca (2.6 líneas) mostró una mayor mejora de la AV que el grupo de actividades de lejos (1.6 líneas), pero sólo en el caso de los niños con ambliopía grave, lo que sugiere que las actividades de cerca pueden mejorar el tratamiento en este tipo de ambliopía.

Unos años más tarde (2008), el PEDIG vuelve a hacer el mismo estudio, pero esta vez con 425 niños de entre 3 y 7 años. En esta ocasión, ambos grupos dieron como resultados una mejora de la AV muy similar, 2.6 líneas en el grupo de actividades de lejos y 2.5 líneas en el grupo de actividades de cerca. Además, observaron que los niños con ambliopía grave obtuvieron una mejora de 3.6 líneas.

Como conclusión de estos estudios, se puede decir que la realización de actividades cercanas comunes no mejora el resultado de la agudeza visual cuando se trata la ambliopía anisométrica, estrábica o mixta con 2 horas de parche diario (PEDIG, 2008; Suttle, 2010).

Por el contrario, en el estudio de Lin & Chen (2013) se prescribió lentes positivas y prismas de base nasal a 360 niños con ambliopía anisométrica de entre 5 y 7 años mientras realizaban actividades de cerca a una distancia de 30 a 60 cm y de 2.5 a 3 metros. Como resultado, obtuvieron que la AV mejoró (0.76) significativamente desde el inicio del estudio (0.3). Además, también la sensibilidad al contraste mostró una mejora significativa después del tratamiento para todas las frecuencias espaciales (figura 13).



Figura 10: Paciente realizando este tratamiento. (a) Paciente viendo la televisión. (b) Paciente jugando juegos de ordenador.

Imagen extraída a partir de (Lin & Chen, 2013).

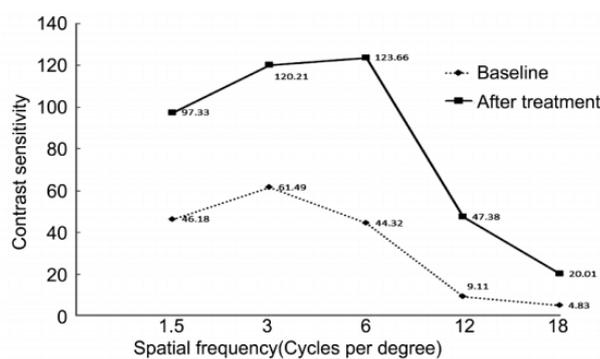


Figura 11: Sensibilidad al contraste de ojo ambliope a diferentes frecuencias espaciales en pacientes antes y después del tratamiento.

Gráfica extraída a partir de (Lin & Chen, 2013).

En conclusió, este estudio mostró buenos resultados tanto en la AV como en la SC para este tipo de tratamiento, pudiendo proporcionar una alternativa eficaz para el tratamiento en pacientes con ambliopía anisométrica (*Lin & Chen, 2013*).

### Fototerapia optomètrica - Syntonics

La fototerapia optomètrica o Syntonics es un tratamiento que se utiliza tanto en la ambliopía como en otros trastornos visuales (*College of Syntonics in Optometry*).

Se basa en la utilización de filtros de absorción de color por el cual se aplica luz blanca con unas frecuencias específicas enfocada por una lente colimadora esmerilada. Los pacientes miran por un tubo de 50 cm hacia la lente esmerilada de 50 mm de diámetro que aparece como un punto brillante de color saturado (*Gottlieb & Wallace, 2010*).

Los pacientes son diagnosticados por síntomas, evaluación de la visión, desempeño visual / motor y sensibilidad de la visión periférica (*College of Syntonics in Optometry*).

Es un tratamiento que se lleva usando por muchos años en Estados Unidos y en otros países, dando como resultado mejoras significativas (*Gottlieb & Wallace, 2010*).

A pesar de esto, Suttle (2010) comenta que debido a la falta de estudios que proporcionen pruebas de calidad en la mejora en pacientes ambliopes, no es recomendable prescribir este tratamiento.



*Figura 12: Paciente realizando una sesión con Syntonics.*

*Imagen extraída a partir de ("Fototerapia Syntonics | Terapia Visual Mallorca", 2021).*

## Estimulación binocular

Como se ha comentado en el apartado 4.1.2. en la oclusión el ojo no ambliope está ocluido por lo tanto no se estimula, esto significa que no se fomenta la visión binocular durante esta etapa. Pero, la estimulación binocular puede ser muy importante para el tratamiento de la ambliopía (*Suttle, 2010*).

En el estudio de Baker et al. (2007), se explica cómo las señales del ojo ambliope y las del ojo no ambliope influyen de un ojo al otro permitiendo la visión binocular. Además, demostraron que cuando la SC se iguala en ambos ojos, la suma binocular se vuelve normal, haciendo que los mecanismos de contraste binocular permanezcan intactos.

Los tratamientos con los que se permite tener la estimulación binocular y que se usan hoy en día son: penalización con atropina y filtros de Bangerter - filtros que se colocan en la parte posterior de la lente del ojo no ambliope para disminuir la AV de ese ojo y se llevan a tiempo completo- (*Papageorgiou et al., 2018*). En estos dos tratamientos la visión es binocular debido a que ambos ojos reciben estimulación y la resolución periférica no está impedida significativamente (*Suttle, 2010*).

Además de estos dos tratamientos, que son los más conocidos, también hay otros que permiten la estimulación binocular:

- Fijación monocular en campo binocular (FMCB): tiene la intención de entrenar el sistema visual ambliope para integrar la información de ambos ojos.

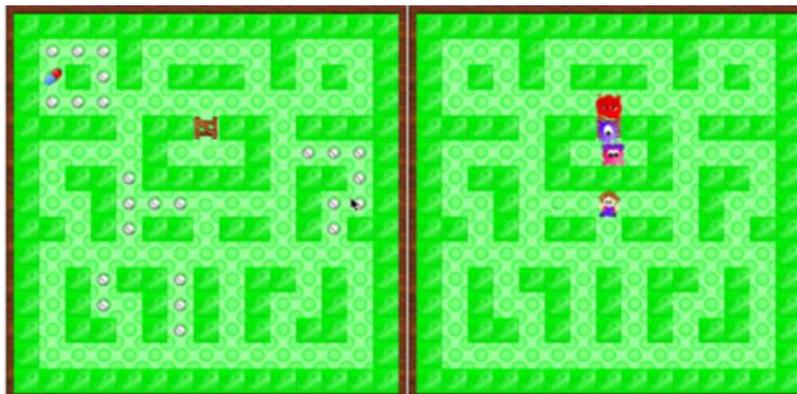
Consiste en presentar estímulos periféricos a ambos ojos, mientras que sólo se estimula el ojo ambliope en la fovea mediante diversos formatos de papel como, por ejemplo, crucigramas o colocación de puntos en las letras "o" de un texto, utilizando un bolígrafo rojo y usando gafas rojo-verde, con la lente roja delante del ojo no ambliope (*Wick et al., 1992; Suttle, 2010*).

- Tratamiento Binocular Interactivo (I-BiT): consiste en la presentación de estímulos visuales periféricos a ambos ojos, mientras que los estímulos centrales sólo se presentan al ojo ambliope. Es un método más avanzado respecto a la FMCB debido a que presenta más disponibilidad respecto a la presentación de los tipos de estímulos y, también, del formato de la tarea visual (*Suttle, 2010*).

En el estudio de Waddingham et al. (2006) se escogió a seis niños de una media de seis años que no habían sido tratados o tratados sin éxito de la ambliopía y se les sometió a sesiones de tratamiento con I-BiT durante 15 semanas. La sesión consistía en visionar un vídeo durante 20 minutos y, después, realizar la práctica de un juego de ordenador. Como resultados, sólo uno de los niños no presentó ninguna mejora en comparación con el resto que mostraron mejora en la AV tras el tratamiento.

Este método binocular, que incorpora juegos y vídeos, puede ser más agradable y puede mejorar el cumplimiento del tratamiento para muchos niños, sin embargo, en términos de visión, no hay diferencia respecto a la mejora sobre el tratamiento convencional para la ambliopía y aún no está claro si los resultados del tratamiento serán mejores (Suttle, 2010). A pesar de esto, las mejoras en AV y estereopsis alcanzaron niveles significativos y, además, se ha encontrado en ensayos que no presenta efectos secundarios durante la prueba (Pescosolido et al., 2014).

Esta discrepancia se puede observar en el estudio de Cleary et al. (2009), donde los resultados de la estereopsis fueron muy dispares. De los 12 niños del estudio; cuatro eran supresores por lo cual no se podía valorar el examen; dos no mostraron mejoras; dos mostraron reducciones en la estereoaquidez y, ocho mostraron mejoras significativas (400 a 200 arc seg).

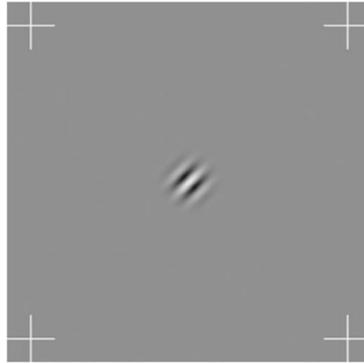


*Figura 13: Separación de los elementos dinámicos y estáticos. La imagen de la izquierda se le presenta al ojo no ambliope y la imagen de la derecha al ojo ambliope.*

*Imagen extraída a partir de (Díaz & Díaz, 2016).*

## Aprendizaje perceptivo

El aprendizaje perceptivo consiste en la mejora de la visión tras el entrenamiento con estímulos de Gabor mediante la repetición de tareas visuales perceptivas, promoviendo una mejora de la agudeza visual (AV) y de la sensibilidad al contraste (SC), entre otros (Suttle, 2010; Hernández-Rodríguez & Piñero, 2020).



*Figura 14: El estímulo de Gabor utilizado para el aprendizaje perceptivo.*

*Imagen extraída a partir de (Chen et al., 2018).*

La mayoría de los estudios indican que el aprendizaje perceptivo se aplica a la tarea visual entrenada (por ejemplo, la sensibilidad al contraste en una determinada frecuencia espacial) y, por lo general, no se transfiere a otros aspectos de la visión. Como aplicación para la ambliopía, esto es un problema, ya que un tratamiento útil para la ambliopía debería mejorar la visión de forma más general (Suttle, 2010). Pero, a menudo se transfiere al otro ojo, a otras tareas, y/o a la agudeza visual y estereoscópica. Además, se ha descubierto que el aprendizaje perceptivo monocular se transfiere no sólo a la mejora de la función monocular en los ojos ambliopes, sino también a la binocular (Papageorgiou et al., 2019).

En el estudio de Polat et al. (2004) participaron 77 pacientes ambliopes de entre 9 y 55 años. El objetivo del estudio era ver cómo mejoraba la visión mediante el aprendizaje perceptivo, dando como resultados que el aprendizaje perceptivo dio una mejora en las tareas de reconocimiento de letras y en la sensibilidad al contraste. En esta última se vio una mejora en todas las frecuencias espaciales y la gama de frecuencias espaciales altas mejoró hasta situarse dentro del rango normal.

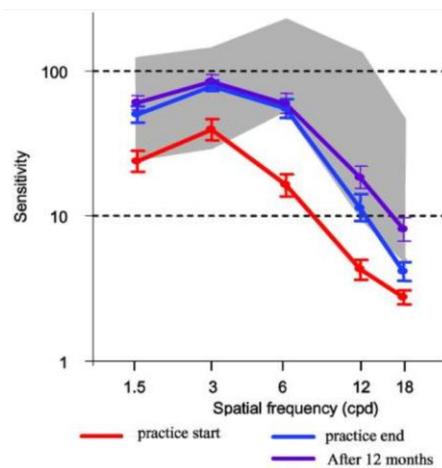


Figura 15: Sensibilidad de contraste antes, durante y después del tratamiento con aprendizaje perceptivo.

Imagen extraída a partir de (Polat et al., 2004).

En otro estudio, Chen et al. (2008) compararon la eficacia del aprendizaje perceptivo - 26 pacientes- vs. oclusión -27 pacientes- en pacientes (de entre 4 y más de 18 años) con ambliopía anisométrica. Las sesiones del grupo de aprendizaje perceptivo fueron 48 de una duración de 30 minutos, además, el ojo no ambliope estaba ocluido. La AV mejoró en ambos grupos: 0.25 logMAR con aprendizaje perceptivo y 0.34 logMAR con oclusión. También, la sensibilidad al contraste presentó mejoras en todas las frecuencias espaciales. Tras el aprendizaje perceptivo, la SC media mejoró en un factor de 2.07, 2.16, 3.20, 6.16 y 5.52 en frecuencias espaciales de 1.5, 3, 6, 12 y 18 ciclos por grado respectivamente y, con la oclusión, mejoró con un factor de 2.20, 2.48, 2.36, 4.98 y 3.92, respectivamente. En resumen, se puede observar que la AV y la SC mejoraron significativamente en ambos grupos sin diferencias significativas, pero hay que tener en cuenta que en ambos grupos se usó oclusión con parche en el ojo no ambliope.

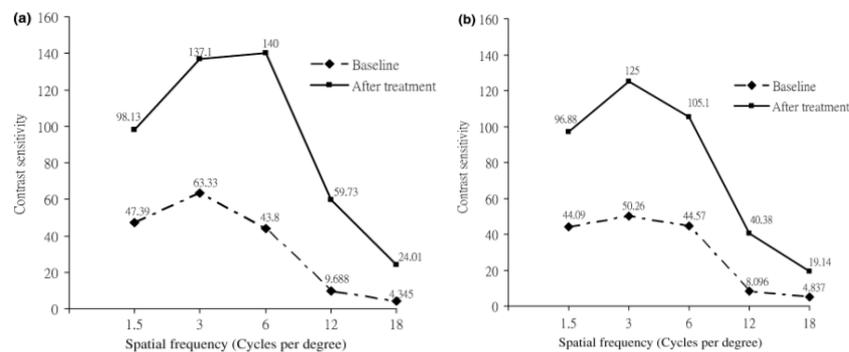


Figura 16: Sensibilidad de contraste media del ojo ambliope a diferentes frecuencias espaciales en pacientes con ambliopía anisométrica al inicio y después del tratamiento con (a) aprendizaje perceptivo y (b) oclusión.

Imagen extraída a partir de (Chen et al., 2008).

A partir de este punto, se detalla cómo estos dos estudios no encontraron correlación entre la edad y el resultado en sus pacientes. Hecho contrario lo observamos en los estudios de Levi & Li (2009) y Astle et al. (2011) sobre que los ambliopes adultos aún retienen suficiente plasticidad visual, de manera que el aprendizaje perceptivo puede usarse como un tratamiento eficaz para su mejora visual.

Todos los estudios realizados ofrecen información sobre la plasticidad del sistema visual en la ambliopía y sobre el aprendizaje perceptivo en niños ambliopes. Pero algunos tienen tamaños de muestra muy pequeños y no incluyen un grupo de control (por ejemplo, un grupo de niños sometidos a oclusión convencional) (*Suttle, 2010*).

Además, la duración de la sesión parece ser muy determinante en la eficacia del aprendizaje perceptivo, ya que hay muchos estudios que utilizan los mismos estímulos y tareas pero que difieren en la duración donde se puede observar que sus resultados son diferentes. Un factor importante que puede influir en la duración del entrenamiento es la gravedad de la ambliopía (*Levi & Li, 2009*). Por ejemplo, en el anterior estudio comentado, muestra que los pacientes tratados únicamente con oclusión estuvieron sometidos una media de 522 horas a la oclusión, en comparación con la combinación de la oclusión y el aprendizaje perceptivo, que fue una media de 29 horas de oclusión. En el contexto del tratamiento de la ambliopía, una diferencia de este tipo podría representar una ventaja significativa a la hora del cumplimiento del tratamiento tanto para el paciente como para los padres (*Suttle, 2010*).

Como conclusión, el aprendizaje perceptivo es un área con claro potencial para el tratamiento de la ambliopía. Los estudios de aprendizaje perceptivo en sujetos con ambliopía han demostrado que pueden producirse mejoras significativas en la visión a partir de periodos de entrenamiento relativamente cortos, utilizando tareas atractivas, en comparación con la oclusión convencional (*Suttle, 2010*).

## Entrenamiento dicóptico

A diferencia del aprendizaje perceptivo, en el que se administra un único concepto visual a ambos ojos simultáneamente o en condiciones de visión monocular, el tratamiento dicóptico presenta estímulos independientes a cada ojo (*Kraus & Culican, 2018*).

El entrenamiento dicóptico consiste en la presentación de estímulos separados a cada ojo. Dado que el ojo ambliope tiene una menor sensibilidad al contraste en comparación con el ojo sano, se le presentan a este último unos estímulos de menor contraste para así contrarrestar la supresión y permitir la combinación binocular. A medida que los pacientes van desarrollando la función binocular, el contraste del ojo no ambliope se va igualando con el otro ojo, hasta un punto en el que no se requiere ninguna diferencia (*Kraus & Culican, 2018; Park, 2019; Papageorgiou et al., 2019*).

Como se ha comentado anteriormente, la oclusión puede empeorar la fusión binocular. Por lo tanto, aliviar la supresión del ojo ambliope mediante la presentación de estímulos dicópticos induciría mayores niveles de plasticidad que el uso forzado del ojo ambliope solo. Esta suposición ha llevado a sugerir que un nuevo tratamiento de la ambliopía debería ser puramente binocular y dirigido a reducir supresión como primer paso (*Papageorgiou et al., 2019*).

Para poder realizar este tipo de entrenamiento es fundamental la presencia de fijación bifoveal, consiguiéndola mediante primas o cirugía. También, la presencia de una diferencia interocular tolerable en la AV (no más de tres líneas de diferencia) (*Milla & Piñero, 2020*).

La mayor parte de la investigación sobre el entrenamiento dicóptico está relacionada con la ambliopía anisométrica. Sólo un número limitado de estudios ha incluido a pacientes ambliopes estrábicos en sus muestras y, por tanto, es difícil extraer conclusiones consistentes de este tipo de tratamiento en la ambliopía estrábica (*Milla & Piñero, 2020*).

Un estudio realizado por Vedamurthy et al. (2015) juntó a los dos tipos de ambliopía, 23 adultos con ambliopía anisométrica y estrábica -rango de 19 a 66 años-, y demostró que jugar 40 horas a un videojuego de acción dicóptico personalizado produce efectivamente una reducción de la supresión, una mejora (27%) de la AV, una mejora (0.18 log arcseg - 34%) de la estereopsis y, por último, una mejora (aumento promedio

de 0,3 unidades logarítmicas) en la SC. Es interesante remarcar que los ambliopes anisométricos conseguían mayores mejoras en todos los ámbitos en comparación con los ambliopes estrábicos.



Figura 17: Una captura de pantalla del juego dicóptico mientras es jugado por un participante ambliope.

Imagen extraída a partir de (Vedamurthy et al., 2015).

## 7. TRATAMIENTOS DE LA AMBLIOPÍA EN LAS NUEVAS TECNOLOGÍAS

### 7.1. Videojuegos

El uso de videojuegos en el tratamiento de la ambliopía se ha basado en el principio de que pueden reforzar una amplia gama de tareas visuales en adultos con visión normal, incluyendo la sensibilidad a la luz, la sensibilidad al contraste, el amontonamiento visual y la atención visual (Li et al., 2011).

Para investigar su efecto en la ambliopía, se han desarrollado tres métodos (Papageorgiou et al., 2019):

- El primero consiste en jugar a un videojuego con el ojo no ambliope parcheado, con el fin de mejorar los aspectos relacionados con el amontonamiento.
- El segundo método emplea la visualización dicóptica como estrategia antisupresora, en la que se presenta el mismo fondo a ambos ojos, pero mayor contraste en el ojo ambliope.
- El tercer método consiste en jugar a un videojuego diseñado específicamente para desarrollar la estereopsis.

En un estudio piloto preliminar realizado por Li et al. (2011) evaluaron en 20 adultos (15-61 años) con ambliopía que ventajas visuales había en jugar a videojuegos (tanto de acción como de no acción) durante un corto periodo de tiempo (40-80 horas, 2 horas/día) utilizando el ojo ambliópico mientras el ojo no ambliope está ocluido. Se separaron en tres grupos de intervención: grupo de videojuegos de acción ( $n= 10$ ), grupo de videojuegos sin acción ( $n= 3$ ) y grupo de control cruzado ( $n= 7$ ).

Los autores utilizaron un diseño experimental cruzado (primeras 20 h: terapia de oclusión y las siguientes 40 h: terapia de videojuegos), y demostraron que la recuperación de la AV fue al menos cinco veces más rápida de lo que se espera de la terapia de oclusión en la ambliopía infantil.

El grupo de videojuegos de acción (*Medal of Honor: Pacific Assault*) obtuvieron una mejora de 1.6 y 1.4 líneas en un optotipo de letras LogMAR para letras en grupo y letras individuales, respectivamente. El grupo de videojuego sin acción (*SimCity Societies (SIM)*) también obtuvieron una mejora de 1.5 y 0,8 líneas en un optotipo de letras LogMAR para letras en grupo y letras individuales, respectivamente. Este resultado sugiere que los juegos sin acción comparten propiedades útiles para mejorar la visión ambliópica. Además, se evaluó la estereopsis en los ambliopes anisométricos y observaron una mejora del 54% y, tres de ellos, consiguieron llegar a tener una estereoagudeza normal (20 seg arc).

Por lo tanto, parece ser que jugar a los videojuegos monocularmente produce un efecto similar al del aprendizaje perceptivo (*Papageorgiou et al., 2019*).

Birch et al. (2015) realizaron un estudio a 50 niños preescolares (3 a 7 años) con ambliopía para jugar videojuegos de iPad. Cinco de los niños jugaron videojuegos simulados, uno de ellos con oclusión y, cuarenta y cinco, videojuegos binoculares, treinta de ellos con oclusión, utilizando gafas anaglíficas rojo-verde durante 4h/semana a lo largo de 4 semanas.

Se obtuvo que el grupo control no tuvo ninguna mejora significativa en la AV, en cambio el grupo de juego de iPad binocular mejoró 0,43 logMAR. Además, los niños que pasaron más horas jugando ( $\geq 8$  horas) tuvieron una mejora significativamente mayor en la AV que los niños que pasaron jugando menos horas (0 a 4 horas).

El PEDIG (2016) realizó un ensayo clínico aleatorizado multicéntrico. Incluyeron a 385 niños de 5 años a <13 años con ambliopía (20/40 a 20/200) con estrabismo, anisometropía o ambos. Los participantes fueron asignados aleatoriamente a 16 semanas de un juego de iPad binocular prescrito durante 1 hora al día (190 participantes; grupo binocular) o parche del otro ojo prescrito durante 2 horas al día (195 participantes; grupo de parche).

Los resultados obtenidos fueron que la AV del ojo ambliope mejoró en ambos grupos: 1.05 líneas en el grupo binocular y 1.35 líneas en el grupo de parche. Con lo cual, se observó que no hubo diferencias estadísticamente significativas entre los dos grupos y además que el tratamiento con iPad binocular no fue tan bueno como el tratamiento con 2 horas de oclusión diario.

Como conclusión general se puede decir que se necesitan más estudios clínicos aleatorizados a gran escala para confirmar el valor terapéutico del tratamiento con videojuegos en situaciones clínicas. No obstante, los estudios publicados sugieren que los videojuegos pueden proporcionar principios importantes para tratar la ambliopía y quizás otras disfunciones corticales (*Li et al., 2011*). Además, los cambios en la sensibilidad al contraste no han sido probados en varios estudios recientes sobre videojuegos o dicópticos por lo que no se puede derivar una comparación directa con la eficacia de estos métodos (*Vedamurthy et al., 2015*).

## 7.2. Realidad Virtual

El uso de la realidad virtual (RV) para la rehabilitación visual en la ambliopía ha sido investigado en los últimos años, con el potencial de utilizar juegos serios que combinen el aprendizaje perceptual y el entrenamiento dicóptico. Esta combinación de tecnologías permite medir, tratar y controlar los cambios en la supresión interocular, que es uno de los factores que conducen a alteraciones corticales en la ambliopía (*Coco-Martin et al., 2020*).

En el estudio realizado por Hurd et al. (2019) utiliza la RV junto con filtros de Bangerter delante del ojo no ambliope para así desenfocar la visión, pero pudiendo seguir viendo a través de él, además de que el juego requería un gran movimiento físico.

Utilizaron dos juegos *Ambly-Olympics*, el cual era “interminable”, y una nueva versión de *Unity 2018.1.7f1*.



Figura 18: Juegos utilizados en el estudio. (a) *Ambly-Olympics* (b) muestra MMC.

Imàgenes extraídas a partir de: (Hurd et al., 2019).

Se obtuvieron como resultados una mejora en la AV pasando de tener 20/70 a 20/50 después de 40 minutos de juego, es decir, una mejora de una línea. Esto, nos indica que la terapia ha sido eficaz para conseguir que el ojo ambliope se centre en el objeto específico. Además, en este juego se incluyó un factor para manipular el fenómeno de amontonamiento para optimizar las cualidades del juego, intentado que el paciente esté lo más cómodo posible, de esta manera mejorar la AV y la lectura. Por último, los resultados de la esteropsis también mejoraron. Lo justifican a que el filtro de Bangerter minimiza el contraste y aumenta la frecuencia espacial, de manera que, estos filtros ayudan a aumentar la suma binocular suprimiendo el ojo dominante.

Estos resultados también implican que, con un uso regular a lo largo del tiempo, los videojuegos de RV combinados con un filtro de Bangerter podrían ser una terapia adecuada para la corrección de la agudeza visual de la ambliopía. Además, la atracción de disfrutar mediante los videojuegos de RV podría animar a los pacientes a cumplir con el tratamiento. También, esta terapia podría cambiar la vida de los adultos con ambliopía al mejorar la coordinación ojo-mano, la percepción de la profundidad y las habilidades de lectura (Hurd et al., 2019).

## 8. DISCUSIÓN

El objetivo principal de este trabajo era investigar sobre la mejora de la sensibilidad al contraste en pacientes con ambliopía, centrándonos en tres grandes puntos a analizar.

El primero de ellos es saber si se evalúa habitualmente la sensibilidad al contraste en pacientes con ambliopía. En todos los artículos consultados hemos podido observar una tendencia a valorarla debido a que es una prueba importante que proporciona información respecto a la pérdida de visión inidentificable mediante la medición de la agudeza visual (*López, 2009; Medrano et al., 2011*). Además, es importante evaluarla ya que la capacidad de los pacientes ambliopes para detectar diferencias de contraste y brillo es anormal, y la pérdida de sensibilidad al contraste fotópico es una de las características de la ambliopía (*Bermúdez et al., 2007*).

Como resultado a esto, los pacientes ambliopes presentan resultados generalmente disminuidos, sobre todo en las altas frecuencias que presentan valores muy bajos. Esto se puede relacionar a la baja agudeza visual que presenta. Esto es una gran diferencia respecto a lo que pasa con los ojos normales, que presentan disminuidas las medias y altas frecuencias (dentro de la normalidad).

A pesar de esto, estos resultados se pueden mejorar mediante tratamientos específicos. El cuál es nuestro segundo y tercer punto a analizar: ver que tratamientos específicos se utilizan para entrenar de forma pasiva y activa la sensibilidad al contraste y si el entrenamiento es efectivo respecto a la sensibilidad al contraste y a la agudeza visual.

El tratamiento pasivo más conocido y más utilizado para la ambliopía es la oclusión del ojo no ambliope. Este tratamiento ayuda a mejorar la agudeza visual de los pacientes ambliopes, siendo sus resultados más significativos si se inicia el tratamiento antes de finalizar el período sensible (*Lee et al., 2003*). Debido a la mejora de la agudeza visual del ojo ambliope también se mejora la sensibilidad al contraste, ya que son dos parámetros que van relacionados, con lo cual los valores de las frecuencias altas pueden llegar a un nivel normal.

Otro tratamiento pasivo es la penalización farmacológica, donde se prescriben fármacos para el tratamiento de la ambliopía y, se ha demostrado que es tan eficaz como la oclusión (*Gopal, et al., 2019*). A pesar de los buenos resultados obtenidos en todos los

estudios respecto a la mejora de la agudeza visual, no hay estudios suficientes donde se evalúe o relacionen esta mejora con la sensibilidad al contraste.

La única mención que se hace es con el fármaco de la levodopa, que es el fármaco más utilizado en el tratamiento de la ambliopía (*Maconachie & Gottlob, 2015*), siendo que este fármaco presenta una mejora significativa en los resultados de la sensibilidad al contraste (72%), en niños mayores y adolescentes (*Gottlob & Stangler-Zuschroot, 1990; Maconachie & Gottlob, 2015; Sofi et al., 2016; Kraus & Culican; 2018; Vagge et al., 2020*) como también de la agudeza visual.

Estos tratamientos comentados son los más conocidos y utilizados, pero actualmente se han realizado muchos estudios para un tratamiento binocular con el objetivo de proporcionar a las pacientes una terapia más dinámica y satisfactoria.

Los métodos más utilizados son el aprendizaje perceptivo y el entrenamiento dicóptico.

El aprendizaje perceptivo consiste en la mejora de la visión tras el entrenamiento con estímulos de Gabor mediante la repetición de tareas visuales perceptivas, promoviendo una mejora de la agudeza visual (AV) y de la sensibilidad al contraste (SC), entre otros (*Suttle, 2010; Hernández-Rodríguez & Piñero, 2020*). En los estudios de Polat et al. (2004) y Chen et al. (2008) los resultados obtenidos tanto de la agudeza visual como de la sensibilidad al contraste fueron significativamente buenos. Además, la duración de la sesión de entrenamiento suele ser una gran ventaja a la hora del cumplimiento por medio del paciente ya que 29 horas de aprendizaje perceptivo combinado con oclusión es equivalente a 522 horas sólo de oclusión (*Levi & Li, 2009*).

Así que, el aprendizaje perceptivo es un potencial tratamiento para la ambliopía gracias a las mejoras significativas en la visión a partir de períodos de entrenamiento relativamente cortos, utilizando tareas atractivas, en comparación con la oclusión convencional (*Suttle, 2010*).

El entrenamiento dicóptico permite un ajuste manual de la sensibilidad al contraste de ambos ojos, y como explica Baker et al. (2007), las señales del ojo ambliope y las del ojo no ambliope influyen de un ojo al otro permitiendo la visión binocular. Además, cuando se iguala la sensibilidad en ambos ojos se consigue que la suma binocular se vuelva igual, ya que trabajan ambos ojos y así aumentan la agudeza visual y la estereopsis, haciendo que los mecanismos de contraste binocular permanezcan

intactos. En este tratamiento también se encuentran mejoras significativas tanto en la sensibilidad al contraste como en la agudeza visual.

Por último, los tratamientos más innovadores son los videojuegos y la realidad virtual. Estos tratamientos combinan a los dos tratamientos comentados anteriormente, dando así unos resultados con mejoras significativas tanto en agudeza visual como en la sensibilidad al contraste. Por ejemplo, en el estudio de Hurd et al (2019) con tal solo 45 minutos de tratamiento se observaron mejoras significativas en la sensibilidad al contraste, como también en la agudeza visual, en la estereopsis y en fenómeno de amontonamiento. Además, la combinación con filtros de Bangerter provoca un aumento de la frecuencia espacial y minimiza el contraste.

Por último, son una gran opción para el tratamiento de la ambliopía debido a su gran atractivo, con lo cual los pacientes estarían más animados a cumplir con el tratamiento asignado. También, permite la posibilidad de realizar el tratamiento de una manera mucho más cómoda en sus propias casas, como puede ser mediante ordenadores, tablets y móviles mediante las aplicaciones realizadas.

En resumen, la sensibilidad al contraste es una prueba relativamente importante para evaluar en pacientes con ambliopía y como se ha podido observar a lo largo del trabajo, actualmente se evalúa en muchos de los tratamientos. A pesar de esto, aún hay áreas en las que falta que haya muchos más estudios, que incluyan más número de pacientes y diferentes tipos de ambliopes, para poder realizar una valoración exhaustiva de los cambios que se producen en cada tipo de tratamiento.

Una de estas áreas es la penalización farmacológica, que como he comentado anteriormente, hay muy pocos estudios que evalúen la sensibilidad al contraste dando como resultado que no hay datos respecto a si el tratamiento es efectivo o no en esta prueba. Otra área, es la terapia visual dónde la gran mayoría no hacen mención de la sensibilidad al contraste. Por último, la última área, son el entrenamiento dicóptico y el aprendizaje perceptual, que a pesar de ser lo que mejores resultados han obtenido con la sensibilidad al contraste, falta que haya muchos más pacientes y grupos placebo para observar si la mejora es significativa o no.

## 9. CONCLUSIONES

Una vez realizada la búsqueda bibliográfica de diferentes artículos relacionados con la ambliopía y la mejora en la sensibilidad al contraste podemos concluir que:

- ❖ La ambliopía es uno de los problemas visuales de disminución de la agudeza visual, siendo la causa principal y más común de discapacidad visual en niños.
- ❖ La sensibilidad al contraste es una prueba importante que proporciona información respecto a la pérdida de visión inidentificable mediante la medición de la agudeza visual en los pacientes ambliopes.
- ❖ Es importante evaluar la sensibilidad al contraste en pacientes ambliopes debido a que esta función suele ser anormal en ellos.
- ❖ El tratamiento más común y conocido es la oclusión debido a su eficacia en la mejora de la agudeza visual en el ojo ambliope. Debido a esto, también mejora la sensibilidad al contraste ya que son parámetros que van relacionados.
- ❖ La penalización con levodopa produce mejoras en la sensibilidad al contraste en niños mayores y adolescentes.
- ❖ Se ha demostrado que el aprendizaje perceptivo y el entrenamiento dicóptico son los tratamientos activos más efectivos para la mejora de la sensibilidad al contraste debido a los buenos resultados obtenidos.

## 10. BIBLIOGRAFÍA

Arias-Díaz, A., Bernal-Reyes, N., Pérez-Martinto, P. C., Correa-Madrigal, O., & Méndez-Sánchez, T. de J. (2013). Medición de agudeza visual estereoscópica en una población infantil sana. *Revista Mexicana de Oftalmología*, 87(4), 215–219.

Barrett, B. T., Bradley, A., & Candy, T. R. (2013). The relationship between anisometropia and amblyopia. *Progress in Retinal and Eye Research*, 36, 120–158.

Baker, D. H., Meese, T. S., Mansouri, B., & Hess, R. F. (2007). Binocular summation of contrast remains intact in strabismic amblyopia. *Investigative ophthalmology & visual science*, 48(11), 5332–5338.

Bermúdez, M., López, Y., & Figueroa, L. F. (2007). Estereopsis y sensibilidad al contraste (csf) en niños con ambliopía refractiva. *Ciencia & Tecnología Para La Salud Visual y Ocular*, (9), 117-121.

Birch, E. E. (2013). Amblyopia and binocular vision. *Progress in Retinal and Eye Research*, 33(1), 67–84.

Birch, E. E., Li, S. L., Jost, R. M., Morale, S. E., De La Cruz, A., Stager, D., Stager, D. R. (2015). Binocular iPad treatment for amblyopia in preschool children. *Journal of American Association for Pediatric Ophthalmology and Strabismus*, 19(1), 6–11.

Borràs, R.; Gispets, J.; Ondategui, JC.; Pacheco, M.; Sánchez, E.; Varón, C. (1998). Visión binocular. Diagnóstico y tratamiento. *Edicions UPC*.

Carrasco Bautista, M. C. (2020). Tratamiento activo de la ambliopía. Casos clínicos. *Universidad Politécnica de Catalunya, UPC*, 1-65.

Ciuffreda, K. J., Hokoda, S. C., Hung, G. K. y Semmlow, J. L. (1984). Accommodative stimulus/response function in human amblyopia. *Documenta Ophthalmologica*, 56(4), 303–326.

Chen, P. L., Chen, J. T., Fu, J. J., Chien, K. H., & Lu, D. W. (2008). A pilot study of anisometropic amblyopia improved in adults and children by perceptual learning: an alternative treatment to patching. *Ophthalmic & physiological optics: the journal of the British College of Ophthalmic Opticians (Optometrists)*, 28(5), 422–428.

Chen, B. B., Song, F. W., Sun, Z. H., & Yang, Y. (2013). Anisometropia magnitude and visual deficits in previously untreated anisometropic amblyopia. *International Journal of Ophthalmology*, 6(5), 606–610.

Cleary, M., Moody, A. D., Buchanan, A., Stewart, H., & Dutton, G. N. (2007). Assessment of a computer-based treatment for older amblyopes: the Glasgow Pilot Study. *Eye*, 23(1), 124–131.

Díaz Núñez, Y. C., & Díaz Núñez, Y. J. (2016). Tratamiento binocular de la ambliopía basado en la realidad virtual. *Revista Cubana de Oftalmología*, 29(4), 674-687.

Hitchcock, E. M., Dick, R. B., & Krieg, E. F. (2004). Visual contrast sensitivity testing: A comparison of two F.A.C.T. test types. *Neurotoxicology and Teratology*, 26(2), 271–277.

Gottlieb, R. L., & Wallace, L. B. (2010). Syntonic Phototherapy. *Photomedicine and Laser Surgery*, 28(4), 449–452.

Hamm, L. M., Black, J., Dai, S., & Thompson, B. (2014). Global processing in amblyopia: A review. *Frontiers in Psychology*, 5, 583, 1-42.

Holmes, J. M., & Clarke, M. P. (2006). *Amblyopia*. *The Lancet*, 367(9519), 1343–1351.

Holmes, J. M., Kraker, R. T., Beck, R. W., Birch, E. E., Cotter, S. A., Everett, D. F., Hertle, R. W., Quinn, G. E., Repka, M. X., Scheiman, M. M., Wallace, D. K., & Pediatric Eye Disease Investigator Group (2003). A randomized trial of prescribed patching regimens for treatment of severe amblyopia in children. *Ophthalmology*, 110(11), 2075–2087.

Holmes, J. M., Edwards, A. R., Beck, R. W., Arnold, R. W., Johnson, D. A., Klimek, D. L., Kraker, R. T., Lee, K. A., Lyon, D. W., Nosel, E. R., Repka, M. X., Sala, N. A., Silbert, D. I., Tamkins, S., & Pediatric Eye Disease Investigator Group (2005). A randomized pilot study of near activities versus non-near activities during patching therapy for amblyopia. *Journal of AAPOS: the official publication of the American Association for Pediatric Ophthalmology and Strabismus*, 9(2), 129–136.

Holmes, J. M., Manh, V. M., Lazar, E. L., Beck, R. W., Birch, E. E., Kraker, R. T., ... & Pediatric Eye Disease Investigator Group. (2016). Effect of a binocular iPad game vs part-time patching in children aged 5 to 12 years with amblyopia: a randomized clinical trial. *Jama ophthalmology*, 134(12), 1391-1400.

Holmes, J. M., & Levi, D. M. (2018). Treatment of amblyopia as a function of age. *Visual Neuroscience*, 35, 1-6.

Hurd, O., Kurniawan, S., & Teodorescu, M. (2019). Virtual reality video game paired with physical monocular blurring as accessible therapy for amblyopia. *26th IEEE Conference on Virtual Reality and 3D User Interfaces, VR 2019 - Proceedings*, 492–499.

Jeon, H. S., & Choi, D. G. (2017). Stereopsis and fusion in anisometropia according to the presence of amblyopia. *Graefe's archive for clinical and experimental ophthalmology*, 255(12), 2487–2492.

Joly, O., & Frankó, E. (2014). Neuroimaging of amblyopia and binocular vision: a review. *Frontiers in integrative neuroscience*, 8(63), 1-10.

Kraus, C. L., & Culican, S. M. (2018). New advances in amblyopia therapy I: binocular therapies and pharmacologic augmentation. *The British journal of ophthalmology*, 102(11), 1492–1496.

Koo, E. B., Gilbert, A. L., & VanderVeen, D. K. (2016). Treatment of Amblyopia and Amblyopia Risk Factors Based on Current Evidence. *Seminars in Ophthalmology*, 32(1), 1–7.

Levi, D. M. (2008). Crowding—An essential bottleneck for object recognition: A mini-review. *Vision Research*, 48(5), 635–654.

Levi, D. M., & Li, R. W. (2009). Perceptual learning as a potential treatment for amblyopia: a mini-review. *Vision research*, 49(21), 2535–2549.

Levi D. M. (2013). Linking assumptions in amblyopia. *Visual neuroscience*, 30(5-6), 277–287.

Levi, D. M., Knill, D. C., & Bavelier, D. (2015). Stereopsis and amblyopia: A mini-review. *Vision research*, 114, 17–30.

Levi, D. M., McKee, S. P., & Movshon, J. A. (2011). Visual deficits in anisometropia. *Vision Research*, 51(1), 48–57.

Li, R. W., Ngo, C., Nguyen, J., & Levi, D. M. (2011). Video-Game Play Induces Plasticity in the Visual System of Adults with Amblyopia. *PLoS Biology*, 9(8), 1-11.

Lin, C. C., & Chen, P. L. (2013). Improvement of visual acuity in children with anisometropic amblyopia treated with rotated prisms combined with near activity. *International Journal of ophthalmology*, 6(4), 487–491.

López A., Y. (2009). Importancia de la valoración de sensibilidad al contraste en la práctica optométrica. *Ciencia & Tecnología Para La Salud Visual y Ocular*, 7(2), 99–114.

Loudon, S. E., Rook, C. A., Nassif, D. S., Piskun, N. V., & Hunter, D. G. (2011). Rapid, high-accuracy detection of strabismus and amblyopia using the pediatric vision scanner. *Investigative Ophthalmology and Visual Science*, 52(8), 5043–5048.

Maconachie, G. D., & Gottlob, I. (2015). The challenges of amblyopia treatment. *Biomedical journal*, 38(6), 510–516.

Matta, N. S., & Silbert, D. I. (2013). Part- time vs. full- time occlusion for amblyopia: Evidence for part- time patching. *American Orthoptic Journal*, 63(1), 14–18.

Matta, N. S., Singman, E. L., & Silbert, D. I. (2010). Evidenced-based medicine: Treatment for amblyopia. *American Orthoptic Journal*, 60(1), 17–22.

McKee, S. P., Levi, D. M., & Movshon, J. A. (2003). The pattern of visual deficits in amblyopia. *Journal of vision*, 3(5), 380–405.

Medrano Muñoz, S. M., Alvarez Leon, A., & Izquierdo, M. J. (2011). Determinación de los cambios en la función de sensibilidad al contraste posterior a la terapia visual en pacientes con diagnóstico de ambliopía refractiva. *Determinación de Los Cambios En La Función de Sensibilidad Al Contraste Posterior a La Terapia Visual En Pacientes Con Diagnóstico de Ambliopía Refractiva*, 9(1), 81–89.

Milla, M., & Piñero, D. P. (2020). Characterization, passive and active treatment in strabismic amblyopia: a narrative review. *International journal of ophthalmology*, 13(7), 1132–1147.

Moseley M.J., Neufeld M., McCarry B., Charnock A., McNamara R., Rice T., Fielder A. (2002) Remediation of refractive amblyopia by optical correction alone. *Ophthalmic Physiol Opt* 22:296–299.

Park, S. H. (2019). Current Management of Childhood Amblyopia. *Korean Journal of Ophthalmology*, 33(6), 557.

Papageorgiou, E., Asproudis, I., Maconachie, G. et al. (2019). The treatment of amblyopia: current practice and emerging trends. *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol* 257, 1061–1078.

Pediatric Eye Disease Investigator Group (2003). The course of moderate amblyopia treated with atropine in children: experience of the amblyopia treatment study. *American Journal of ophthalmology*, 136(4), 630–639.

Pediatric Eye Disease Investigator Group (2008). A randomized trial of near versus distance activities while patching for amblyopia in children aged 3 to less than 7 years. *Ophthalmology*, 115(11), 2071–2078.

Pescosolido, N., Stefanucci, A., Buomprisco, G., & Fazio, S. (2014). Amblyopia treatment strategies and new drug therapies. *Journal of pediatric ophthalmology and strabismus*, 51(2), 78–86.

Piñeros, O. E., Salamanca Libreros, O. F., & Amaya, C. (2018). Descripción de la función de sensibilidad al contraste en pacientes miopes e hipermétropes. *Revista Sociedad Colombiana De Oftalmología*, 47(3), 232–240.

Polat, U., Ma-Naim, T., Belkin, M., & Sagi, D. (2004). Improving vision in adult amblyopia by perceptual learning. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 101(17), 6692–6697.

Repka, M. X., Kraker, R. T., Dean, T. W., Beck, R. W., Siatkowski, R. M., Holmes, J. M., Beauchamp, C. L., Golden, R. P., Miller, A. M., Verderber, L. C., & Wallace, D. K. (2015). A randomized trial of levodopa as treatment for residual amblyopia in older children. *Ophthalmology*, 122(5), 874–881.

Rouse, M. W., Cooper, J. S., Cotter, S. A., Press, L. J., & Tannen, B. M. (2004). Care of the patient with amblyopia. *Optometric Clinical Practice Guidelines*, 1-31.

Sofi, I. A., Gupta, S. K., Bharti, A., Tantry, T. G. (2016). Efficiency of the occlusion therapy with and without levodopa-carbidopa in amblyopic children- A tertiary care centre experience. *International Journal of Health Sciences*, 10 (2), 249–257.

Shapira, Y., Machluf, Y., Mimouni, M., Chaïter, Y., & Mezer, E. (2018). Amblyopia and strabismus: Trends in prevalence and risk factors among young adults in Israel. *British Journal of Ophthalmology*, 102(5), 659–666.

Stewart, C. E., Moseley, M. J., Georgiou, P., & Fielder, A. R. (2017). Occlusion dose monitoring in amblyopia therapy: status, insights, and future directions. *Journal of AAPOS*, 21(5), 402–406.

Stewart CE, Moseley MJ, Fielder AR et al. (2004). Refractive adaptation in amblyopia: quantification of effect and implications for practice. *Br J Ophthalmol*, 88: 1552–1556.

Suttle, C. M. (2010). Active treatments for amblyopia: a review of the methods and evidence base. *Clinical and Experimental Optometry*, 93:5, 287-299.

Taylor, K., & Elliott, S. (2014). Interventions for strabismic amblyopia. *The Cochrane database of systematic reviews*, (7), 3-24.

Taylor, K., Powell, C., Hatt, S. R., & Stewart, C. (2012). Interventions for unilateral and bilateral refractive amblyopia. *The Cochrane database of systematic reviews*, (4), 1-44.

Toor, S., Horwood, A. M., & Riddell, P. (2018). Asymmetrical accommodation in hyperopic anisometropic amblyopia. *British Journal of Ophthalmology*, 102(6), 772–778.

Valladares, A. M. (2016). Stereopsis and Amblyopia: New Treatments for Future. *Advances in Ophthalmology & Visual System*, 5(2), 5–7.

Vedamurthy, I., Nahum, M., Huang, S. J., Zheng, F., Bayliss, J., Bavelier, D., & Levi, D. M. (2015). A dichoptic custom-made action video game as a treatment for adult amblyopia. *Vision Research*, 114, 173–187.

Véronneau-Troutman, S., Dayanoff, S. S., Stohler, T., & Clahane, A. C. (1974). Conventional occlusion vs. pleoptics in the treatment of amblyopia. *American journal of ophthalmology*, 78(1), 117–120.

Von Noorden, G. K. Campos, E. (1990). Binocular vision and ocular motility. *Theory and management of strabismus*, 246-391.

Waddingham, P. E., Butler, T. K., Cobb, S. V., Moody, A. D., Comaish, I. F., Haworth, S. M., Gregson, R. M., Ash, I. M., Brown, S. M., Eastgate, R. M., & Griffiths, G. D. (2006). Preliminary results from the use of the novel Interactive binocular treatment (I-BiT) system, in the treatment of strabismic and anisometropic amblyopia. *Eye (London, England)*, 20(3), 375–378.

Wang, H., Crewther, S. G., & Yin, Z. Q. (2015). The role of eye movement driven attention in functional strabismic amblyopia. *Journal of ophthalmology*, 2015, 1-8.

Wang, J. (2015). Compliance and patching and atropine amblyopia treatments. *Vision Research*, 114, 31–40.

West, S., & Williams, C. (2016). Amblyopia in children (aged 7 years or less). *BMJ clinical evidence* 2016(01), 1-27.

Ying, G. S., Huang, J., Maguire, M. G., Quinn, G., Kulp, M. T., Ciner, E., Orel-Bixler, D. (2013). Associations of anisometropia with unilateral amblyopia, interocular acuity difference, and stereoacuity in preschoolers. *Ophthalmology*, 120(3), 495–503.

Zhou, J., He, Z., Wu, Y., Chen, Y., Chen, X., Liang, Y., ... Hess, R. F. (2019). *Inverse Occlusion: A Binocularly Motivated Treatment for Amblyopia. Neural Plasticity*, 2019, 1–12.

Zhou, Y., Huang, C., Xu, P., Tao, L., Qiu, Z., Li, X., & Lu, Z. L. (2006). Perceptual learning improves contrast sensitivity and visual acuity in adults with anisometropic amblyopia. *Vision Research*, 46(5), 739–750.

Zipori, A. B., Colpa, L., Wong, A. M. F., Cushing, S. L., & Gordon, K. A. (2019). Postural stability and visual impairment: Assessing balance in children with strabismus and amblyopia. *PLoS ONE*, 13(10), 1–18.

## 11. INFOGRAFÍA

[Figura 2]: Tu vista sana. (2020). Tipos de estrabismos según la dirección de la desviación. Recuperado de: <https://tuvistasana.com/condiciones-y-enfermedades/estrabismo/>

[Figura 3]: AboutKidsHealth. (2009). Recuperado de: <https://www.aboutkidshealth.ca>

[Figura 4]: Rollero. (2020, 11 febrero). *Sensibilidad al Contraste: Función*. Información Ópticas. Recuperado de: <https://www.informacionopticas.com/sensibilidad-al-contraste-funcion/>

[Figura 5]: Pelli, D. G. (1997). Two Stages of Perception. *ResearchGate*, 1–7.

[Figura 8]: Stereo Optical. (2020). *Test de Randot - Puntos aleatorios*. Promoción Optométrica. Recuperado de: <https://www.promocionoptometrica.com>

[Figura 9]: Berri.es. (2021). *TEST TNO FOR STEREOSCOPIC VISION*. Berri.es Librería médica. Recuperado de: [https://www.berri.es/libreria\\_medica](https://www.berri.es/libreria_medica)

[Figura 12]: Terapia visual Mallorca. (2021). *¿Qué es la fototerapia Syntonic?* Terapia visual Mallorca. Recuperado de: <https://terapiavisualmallorca.com/terapia-visual/visual/fototerapia-syntonics/>