

## Ambliopía en adultos: nuevas perspectivas de tratamiento

**Andrea Vázquez Cabrera**

*SAERA. School of Advanced Education Research and Accreditation*

### RESUMEN

La ambliopía u "ojo vago", ha sido tradicionalmente considerada irreversible en adultos debido a la supuesta rigidez de la plasticidad cerebral tras la infancia. Sin embargo, investigaciones recientes han demostrado que es posible estimular la plasticidad residual del cerebro adulto mediante terapias innovadoras. Este estudio revisa los tratamientos convencionales y emergentes para la ambliopía en adultos, abordando enfoques como la realidad virtual, los videojuegos terapéuticos y la estimulación transcraneal. Se ha realizado una revisión bibliográfica sistemática en bases de datos científicas para identificar los avances más recientes en el tratamiento de esta afección. Los resultados destacan la eficacia de las terapias dicópticas para mejorar tanto la agudeza visual como la percepción binocular, sugiriendo nuevas perspectivas terapéuticas que podrían transformar el manejo clínico de la ambliopía en adultos.

**Palabras clave:** *ambliopía, plasticidad cerebral, realidad virtual, videojuegos terapéuticos, estimulación transcraneal.*

### ABSTRACT

Amblyopia, commonly known as "lazy eye," has long been considered irreversible in adults due to the assumed rigidity of neural plasticity beyond childhood. However, recent studies have shown that adult neuroplasticity can be stimulated through innovative therapies. This study reviews both traditional and emerging treatments for adult amblyopia, focusing on approaches such as virtual reality, therapeutic video games, and transcranial stimulation. A systematic literature review was conducted using major scientific databases to identify the latest advancements in amblyopia treatment. The findings highlight the effectiveness of dichoptic therapies in enhancing both visual acuity and binocular perception, suggesting new therapeutic perspectives that could transform the clinical management of adult amblyopia.

**Keywords:** *ambliopía, plasticidad cerebral, realidad virtual, videojuegos terapéuticos, estimulación transcraneal.*

## INTRODUCCIÓN

La ambliopía, también llamada "ojo vago", es un problema visual que afecta entre el 2 y el 3% de la población mundial y se considera una de las principales causas de pérdida de visión monocular (Holmes & Clarke, 2006). Esta afección tiene un impacto significativo en la calidad de vida de los pacientes, afectando su desempeño en actividades cotidianas, su integración laboral y su bienestar emocional (Wallace et al., 2021). Además, la ambliopía en adultos ha sido históricamente subestimada en términos de tratamiento, lo que refuerza la importancia de buscar estrategias terapéuticas innovadoras que amplíen las opciones disponibles.

El tratamiento tradicional de la ambliopía, basado en la penalización óptica y la oclusión del ojo dominante, ha demostrado ser eficaz principalmente en niños durante el periodo crítico del desarrollo visual (Repka et al., 2014). Sin embargo, en adultos, estos métodos presentan resultados limitados debido a la reducción de la plasticidad neuronal con la edad (Levi, 2020). En contraste, las terapias emergentes, como la realidad virtual, los videojuegos terapéuticos y la estimulación transcraneal, han mostrado potencial para activar la plasticidad cerebral residual y mejorar la función visual en adultos con ambliopía (Žiak et al., 2017).

A pesar de los avances en neurociencia y tecnología, aún existen lagunas en el conocimiento sobre la efectividad y

aplicabilidad clínica de estas nuevas estrategias terapéuticas. Uno de los principales retos es comprender hasta qué punto es posible modificar la plasticidad cerebral en la adultez y cómo se pueden optimizar los protocolos de tratamiento para obtener mejores resultados (Mateos-Aparicio & Rodríguez-Moreno, 2019).

Además, factores como la adherencia al tratamiento, la variabilidad en la respuesta de los pacientes y la accesibilidad a estas tecnologías siguen siendo desafíos clave en la implementación de estas terapias en la práctica clínica (Vedamurthy et al., 2016).

Para abordar estas cuestiones, este trabajo realiza una revisión bibliográfica sobre los avances recientes en el tratamiento de la ambliopía en adultos, analizando las diferentes estrategias terapéuticas innovadoras, sus mecanismos de acción y su impacto en la recuperación visual. En particular, se examinará la eficacia de la realidad virtual, la estimulación transcraneal y los videojuegos terapéuticos como herramientas para mejorar la agudeza visual y la cooperación binocular en pacientes adultos, con el objetivo de evaluar su aplicabilidad clínica y contribuir a la optimización de los protocolos de tratamiento.

Los hallazgos de este estudio pueden proporcionar información relevante para profesionales de la salud visual, además de servir como base para futuras investigaciones dirigidas a validar la efectividad de estas terapias y facilitar su implementación en entornos clínicos. Con

ello, se espera mejorar la calidad de vida de los pacientes con ambliopía y ampliar las opciones terapéuticas disponibles para esta condición.

## 1. AMBLIOPÍA

La ambliopía, también conocida como "ojo vago", es un trastorno visual que afecta aproximadamente al 2-3% de la población mundial, siendo una de las principales causas de pérdida de visión en un solo ojo (Holmes & Clarke, 2006). La condición surge debido a una experiencia visual anómala durante el periodo crítico del desarrollo visual, lo que lleva a una supresión cortical del ojo afectado (Levi, 2020). Este problema lleva a una reducción en la agudeza visual en uno o ambos ojos, incluso cuando no existen defectos anatómicos evidentes en el globo ocular (Mendoza-Sigala, 2023).

Se clasifica en diferentes tipos según su causa principal:

-Ambliopía estrábica: Se presenta cuando hay una desviación ocular significativa (estrabismo), lo que hace que el cerebro suprima la imagen del ojo desviado para evitar la visión doble, afectando su desarrollo visual (Holmes & Clarke, 2006)

-Ambliopía anisométrica: Ocurre cuando hay una diferencia marcada en el error refractivo entre ambos ojos, lo que lleva a que el cerebro favorezca la imagen del ojo con menor defecto refractivo, ignorando la del ojo con mayor defecto (Levi et al., 2021).

-Ambliopía por privación: Resulta de una obstrucción en la entrada de luz al ojo durante el desarrollo visual temprano, como en casos de cataratas congénitas o ptosis palpebral (Wallace et al., 2021).

-Ambliopía meridional: Se debe a un astigmatismo significativo en un eje específico, lo que afecta el desarrollo adecuado de la percepción visual en ciertas direcciones espaciales (Li et al., 2020).

La ambliopía no solo afecta la agudeza visual monocular, sino que también limita la percepción de profundidad y la visión binocular, lo que puede repercutir en la calidad de vida y en la capacidad para realizar tareas que requieren coordinación visual.

## 2. PLASTICIDAD CEREBRAL EN ADULTOS

La plasticidad cerebral se refiere a la capacidad del sistema nervioso para reorganizarse y adaptarse en respuesta a cambios en el entorno o experiencias específicas (Mateos-Aparicio & Rodríguez-Moreno, 2019). Diferentes regiones del cerebro están involucradas en este proceso:

-Corteza visual primaria (V1): Responsable del procesamiento inicial de la información visual, ha mostrado cierto grado de plasticidad en adultos, lo que permite mejorar la agudeza visual con entrenamiento visual intensivo (Levi, 2020).

-Corteza visual secundaria (V2-V4): Encargada del procesamiento de características visuales como el color y la profundidad, su activación mediante

terapias visuales puede mejorar la percepción binocular y la integración de estímulos visuales (Hess & Thompson, 2015).

-Corteza parietal: Relacionada con la integración de estímulos visuales y la coordinación visomotora, juega un papel en la recuperación de la percepción espacial en pacientes con ambliopía, facilitando la reeducación visual a través de estímulos intensivos (Wallace et al., 2021).

La relación entre la plasticidad cerebral y el tratamiento de la ambliopía en adultos es clave para el desarrollo de estrategias terapéuticas eficaces. Métodos como la realidad virtual, la estimulación transcraneal y los videojuegos terapéuticos han demostrado su capacidad para activar estas regiones cerebrales, promoviendo la recuperación visual incluso en edades avanzadas (Žiak et al., 2017). La plasticidad de la corteza visual en adultos indica que, aunque más limitada en comparación con la infancia, existen mecanismos neuronales que pueden ser aprovechados mediante terapias específicas para mejorar la visión en personas con ambliopía. Este concepto sustenta el uso de enfoques terapéuticos innovadores, diseñados para potenciar la neuroplasticidad mediante estímulos dirigidos y estructurados.

En este contexto, comprender cómo las distintas áreas cerebrales responden a los estímulos terapéuticos permite mejorar la eficacia de los tratamientos actuales y desarrollar nuevas estrategias basadas en la neuroplasticidad. La combinación de terapias visuales intensivas con técnicas de estimulación cerebral puede representar un enfoque prometedor para la rehabilitación visual en adultos con ambliopía,

proporcionando una alternativa viable a los tratamientos convencionales, que han demostrado ser menos efectivos en esta población (Clavagnier et al., 2020).

### 3. TRATAMIENTOS TRADICIONALES EN LA AMBLIOPÍA

Los tratamientos tradicionales para la ambliopía, como el uso de parche o la penalización óptica con atropina, han demostrado ser efectivos en niños, especialmente cuando se aplican durante el periodo crítico de desarrollo visual (Repka et al. 2014).

Estos métodos están diseñados para forzar el uso del ojo afectado, estimulando así su desarrollo funcional (Holmes & Clarke, 2006). Además, los tratamientos tradicionales suelen centrarse exclusivamente en la mejora de la agudeza visual monocular, dejando de lado problemas relacionados con la visión binocular y la percepción de profundidad. Esto ha generado interés en terapias que aborden estas limitaciones (Birch, 2013).

Uno de los mayores desafíos en la ambliopía es la adherencia al tratamiento. Mientras que los métodos tradicionales dependen en gran medida de la constancia del paciente, los videojuegos terapéuticos y la realidad virtual han mostrado una mayor tasa de retención debido a su enfoque dinámico y atractivo. La interacción con entornos virtuales inmersivos y juegos diseñados para estimular la cooperación binocular ha resultado en una mejor participación del paciente y mayores avances

en la recuperación visual. Sin embargo, algunos estudios presentan limitaciones metodológicas, como la ausencia de grupos control y la variabilidad en los protocolos de tratamiento, lo que sugiere la necesidad de investigaciones más robustas para confirmar su eficacia a largo plazo (Clavagnier et al., 2020).

Si bien las terapias emergentes representan una alternativa prometedora, su accesibilidad y disponibilidad aún son desafíos importantes. A diferencia de los tratamientos tradicionales, que requieren recursos relativamente bajos, la

implementación de tecnología avanzada como la realidad virtual y los videojuegos terapéuticos puede representar costos elevados y requerir equipamiento especializado. A pesar de ello, el potencial de estas estrategias para mejorar la adherencia y la recuperación visual en adultos con ambliopía justifica su exploración y desarrollo en futuros estudios clínicos.

Para comprender mejor las diferencias entre los tratamientos tradicionales y emergentes, se presenta la siguiente tabla comparativa:

**Tabla 1.**

*Comparación de tratamientos tradicionales y emergentes*

Característica	Tratamientos Tradicionales (parche, atropina)	Tratamientos Emergentes (realidad virtual, videojuegos terapéuticos, estimulación transcraneal)
Eficacia en niños	Alta (cuando se aplica en la etapa crítica)	Prometedora, pero aún en evaluación
Eficacia en adultos	Baja (limitada por la menor plasticidad cerebral)	Moderada a alta (puede estimular la plasticidad residual)
Adherencia al tratamiento	Baja (el uso prolongado del parche es incómodo y puede generar rechazo social)	Alta (los videojuegos y la realidad virtual son más atractivos)
Fomento de la visión binocular	Limitado (se enfoca en la agudeza visual monocular)	Alto (los métodos emergentes buscan restaurar la visión binocular)
Accesibilidad	Alta (métodos convencionales de bajo costo)	Moderada (requiere acceso a tecnología avanzada)
Evidencia científica	Amplia (validada por múltiples estudios clínicos)	Creciente (aún se requieren estudios con grupos control)

#### 4. NUEVAS ESTRATEGIAS TERAPÉUTICAS: FUNDAMENTOS Y AVANCES

Las terapias emergentes para la ambliopía en adultos se basan en estimular la plasticidad cerebral residual mediante enfoques innovadores. Estas estrategias no solo buscan mejorar la agudeza visual, sino también la visión binocular y la percepción de profundidad. Entre las más prometedoras se encuentran:

##### 4.1. TERAPIAS BASADAS EN REALIDAD VIRTUAL (RV)

La realidad virtual ha surgido como una herramienta prometedora para el tratamiento de la ambliopía. Esta tecnología utiliza entornos virtuales inmersivos y controlados para estimular simultáneamente ambos ojos, promoviendo la colaboración binocular y la supresión del ojo dominante (Díaz Núñez & Díaz Núñez, 2016).

Estudios clínicos han demostrado mejoras significativas en la agudeza visual y la estereopsis en adultos que utilizaron dispositivos de realidad virtual como parte de su terapia (Žiak et al., 2017).

##### 4.2. VIDEOJUEGOS TERAPÉUTICOS

Los videojuegos diseñados específicamente para tratar la ambliopía, como *Dig Rush* y adaptaciones de *Tetris*, han mostrado resultados prometedores. Estos juegos estimulan la cooperación binocular al asignar tareas específicas a cada ojo, mejorando la coordinación binocular y la sensibilidad visual (Vedamurthy et al., 2016). Su naturaleza interactiva y atractiva

también mejora la adherencia al tratamiento, superando una de las principales limitaciones de los métodos tradicionales.

##### 4.3. ESTIMULACIÓN TRANSCRANEAL

Este enfoque consiste en aplicar corrientes eléctricas o magnéticas de baja intensidad al cerebro para potenciar la plasticidad neuronal al influir directamente en la actividad cortical. Aunque aún en etapas iniciales de investigación, la estimulación transcraneal ha mostrado potencial para mejorar la agudeza visual en adultos con ambliopía al combinarse con otras terapias visuales (Spiegel et al., 2013).

##### 4.4. ENTRENAMIENTO PERCEPTUAL

El entrenamiento perceptual busca mejorar habilidades visuales específicas mediante ejercicios repetitivos y personalizados, aprovechando la plasticidad cerebral residual, optimizando así el procesamiento visual y aumentando la sensibilidad a estímulos que el ojo ambliope tiende a ignorar, lo que puede contribuir a la recuperación de funciones visuales como la agudeza visual y la visión binocular (Li et al., 2013b).

Sin embargo, requiere constancia y puede ser repetitivo o desafiante al inicio, por lo que es importante un diseño personalizado y un seguimiento adecuado para garantizar su efectividad (Hess & Thompson, 2015).

## 5. VIDEOJUEGOS TERAPÉUTICOS

Los videojuegos terapéuticos representan una de las estrategias más innovadoras en el tratamiento de la ambliopía, especialmente en adultos. Esta técnica utiliza juegos diseñados específicamente para estimular la cooperación binocular y mejorar la función visual del ojo ambliope. Los videojuegos terapéuticos aprovechan la naturaleza interactiva y motivadora de los juegos para promover una mayor adherencia al tratamiento en comparación con métodos tradicionales como el parche (Vedamurthy et al., 2016).

Están diseñados para asignar tareas visuales específicas a cada ojo. Por ejemplo, en juegos como *Tetris* adaptado o *Dig Rush*, se utiliza una división de estímulos visuales: un ojo recibe la información principal, mientras que el otro se encarga de detalles complementarios, fomentando así la integración binocular (Li et al., 2013a). Este enfoque no solo mejora la agudeza visual, sino que también contribuye a restaurar la visión binocular y la estereopsis, habilidades que suelen estar afectadas en pacientes con ambliopía.

El videojuego *Dig Rush*, desarrollado por Ubisoft en colaboración con Amblyotech Inc. y la Universidad McGill, utiliza un enfoque que equilibra la entrada visual de ambos ojos (Li et al., 2013a). En el juego, los estímulos visuales se dividen estratégicamente: el ojo dominante recibe imágenes con un contraste reducido, mientras que el ojo ambliope recibe estímulos de alto contraste, obligando al

cerebro a procesar ambas imágenes simultáneamente y reduciendo la supresión interocular (Hess et al., 2011).

La mecánica de juego implica el control de mineros que excavan en busca de oro, tarea que solo puede completarse cuando ambos ojos trabajan en conjunto, promoviendo mejoras en la agudeza visual y visión binocular (Li et al., 2011). Además, el sistema adapta dinámicamente el contraste en función del progreso del usuario, maximizando la plasticidad neuronal residual y optimizando los efectos terapéuticos (Li et al., 2013a). Estudios han demostrado que el uso de videojuegos dicópticos, como *Dig Rush*, genera mejoras significativas en adultos con ambliopía, con avances hasta cuatro veces superiores en comparación con tratamientos tradicionales como el parche (Hess et al., 2011).

La combinación de entretenimiento y rehabilitación visual hace de *Dig Rush* una alternativa efectiva y atractiva para la rehabilitación visual en pacientes adultos con ambliopía, mejorando la adherencia al tratamiento y proporcionando una opción terapéutica más motivadora en comparación con los métodos convencionales (Li et al., 2011).

En un estudio realizado por Li et al. (2013a), se compararon dos métodos de entrenamiento: monocular y dicóptico. Durante el entrenamiento dicóptico, cada ojo recibió estímulos visuales diferentes pero complementarios, ajustando el contraste en el ojo dominante para contrarrestar la supresión del ojo ambliope.

Por otro lado, el grupo con entrenamiento monocular cambió al entrenamiento dicóptico después de dos semanas.

Los resultados, mostrados en la Figura 1, demostraron que el entrenamiento dicóptico generó mejoras significativamente mayores en tres aspectos clave:

-Agudeza visual: Los participantes entrenados dicópticamente experimentaron una mejora cuatro veces superior en comparación con aquellos entrenados monocularmente.

-Estereopsis: Solo el grupo dicóptico mostró avances significativos en la percepción de profundidad, mientras que el grupo monocular no presentó cambios notables.

-Supresión interocular: El entrenamiento dicóptico redujo significativamente la supresión del ojo ambliope, permitiendo una mayor cooperación binocular.

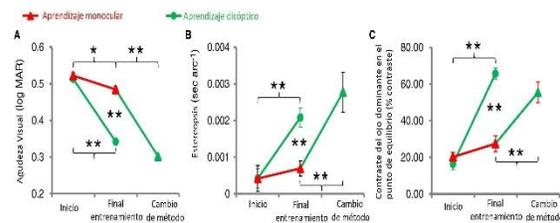
Además, los participantes inicialmente entrenados monocularmente lograron mejoras adicionales al pasar al entrenamiento dicóptico, lo que refuerza la eficacia de esta metodología. Estos resultados subrayan que la combinación de estímulos específicos para cada ojo fomenta la plasticidad neuronal, optimizando tanto la función monocular como binocular. La evidencia presentada en este estudio respalda la efectividad de los videojuegos terapéuticos basados en principios dicópticos para tratar la ambliopía en adultos.

Estos juegos permiten un entrenamiento intensivo en un entorno lúdico, reduciendo la monotonía de las terapias tradicionales. Además, la capacidad de personalizar las tareas visuales en función de las necesidades del paciente añade una ventaja adicional a esta técnica.

A pesar de los resultados prometedores, la implementación de videojuegos terapéuticos enfrenta algunos desafíos. Entre ellos, garantizar la correcta adherencia al protocolo y la necesidad de contar con dispositivos adecuados y entornos controlados para maximizar los beneficios terapéuticos. Sin embargo, el creciente interés en esta área ha impulsado el desarrollo de nuevas plataformas y tecnologías para facilitar su aplicación en la práctica clínica (Vedamurthy et al., 2016).

**Figura 1.**

*Mejoras en la función visual después del entrenamiento monocular frente al dicóptico (Li et al., 2013a).*



## NECESIDAD DEL ESTUDIO

La ambliopía en adultos ha sido un área de investigación históricamente desatendida debido a la creencia generalizada de que la plasticidad cerebral se reduce drásticamente después de la infancia. Sin embargo, investigaciones recientes han demostrado que aún es posible inducir cambios en el procesamiento visual mediante estrategias terapéuticas innovadoras. Este hallazgo ha abierto una nueva vía para mejorar la calidad de vida de los pacientes adultos con ambliopía, quienes anteriormente tenían opciones terapéuticas limitadas.

La necesidad de este estudio radica en la exploración y validación de enfoques terapéuticos modernos que puedan ofrecer alternativas viables a los tratamientos tradicionales. Métodos como la realidad virtual, los videojuegos terapéuticos y la estimulación transcraneal han demostrado potencial en la rehabilitación visual, pero su aplicación en la práctica clínica aún requiere mayor investigación y estandarización.

Además, muchos adultos con ambliopía desconocen las nuevas opciones terapéuticas disponibles o no tienen acceso a tratamientos adecuados debido a la falta de información y recursos clínicos especializados. Por ello, este trabajo busca analizar el impacto de estos tratamientos emergentes y generar un marco de referencia que pueda ser utilizado por profesionales de la salud visual para optimizar el manejo clínico de la ambliopía en adultos.

En conclusión, la creciente evidencia sobre la plasticidad cerebral en la edad adulta justifica la necesidad de revisar y evaluar las nuevas estrategias terapéuticas para la ambliopía. Este estudio tiene como objetivo contribuir a la expansión del conocimiento en esta área y promover el desarrollo de enfoques más efectivos para la rehabilitación visual de adultos afectados por esta condición.

## MÉTODO

### Objeto del estudio

Este Trabajo de Fin de Máster se basa en una revisión bibliográfica que busca analizar y sintetizar las nuevas estrategias terapéuticas utilizadas en el tratamiento de la ambliopía en adultos. Para garantizar la integridad y la calidad de la información recopilada, se siguió un enfoque sistemático para la búsqueda, selección y análisis de los artículos científicos.

La búsqueda de bibliografía se llevó a cabo en bases de datos científicas incluyendo: PubMed, Scopus, Web of Science y Google Scholar. Estas plataformas fueron seleccionadas por su amplio alcance y relevancia en el ámbito de la optometría, la neurociencia y las ciencias médicas. Las palabras clave utilizadas en la búsqueda incluyeron términos como "adult amblyopia", "virtual reality therapy amblyopia", "therapeutic video games amblyopia", "plasticity in adult amblyopia" y

"binocular vision training adults". Estas combinaciones se estructuraron mediante operadores booleanos para optimizar los resultados. Por ejemplo, se utilizó "AND" para combinar conceptos principales como "adult amblyopia" AND "virtual reality", y "OR" para incluir términos sinónimos como "therapeutic video games" OR "gaming for amblyopia". Asimismo, se empleó "NOT" para excluir publicaciones irrelevantes, como aquellas centradas en niños ("children" NOT "pediatric").

Para garantizar la relevancia de los artículos seleccionados, se establecieron criterios de inclusión y exclusión.

#### Criterios de inclusión

- Estudios publicados entre 2005 y 2025.
- Artículos revisados por pares que analicen tratamientos tradicionales y emergentes en adultos con ambliopía.
- Investigaciones con diseños clínicos, revisiones sistemáticas y meta-análisis.
- Estudios que evalúen la eficacia, adherencia y accesibilidad de diferentes tratamientos.

#### Criterios de exclusión

- Investigaciones enfocadas exclusivamente en población pediátrica.
- Estudios con tamaños muestrales inferiores a 30 participantes.
- Publicaciones con metodologías poco rigurosas o sin acceso a texto completo.

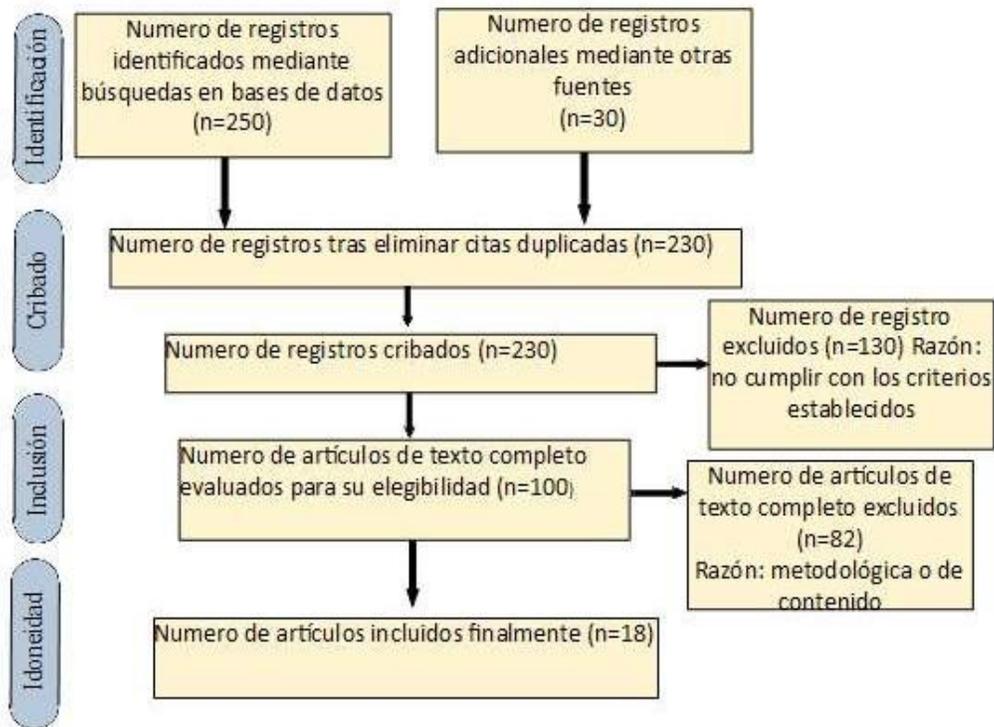
#### Procedimiento

La selección de los estudios siguió el modelo PRISMA, presentado en la figura 2, asegurando una revisión sistemática estructurada y transparente. Inicialmente, se identificaron 250 registros en bases de datos científicas y 30 registros adicionales de otras fuentes. Tras la eliminación de 50 registros duplicados, se revisaron 230 artículos a partir de su título y resumen, de los cuales 130 fueron descartados por no cumplir con los criterios de inclusión. En la fase de elegibilidad, se evaluaron 100 artículos a texto completo, descartando 82 por razones metodológicas o de contenido. Finalmente, se incluyeron 18 estudios que cumplieran con todos los requisitos para formar parte del análisis en la revisión sistemática.

Los estudios seleccionados evaluaron la eficacia de distintos tratamientos mediante diversas métricas de resultado. Para garantizar coherencia en la interpretación de los datos, se especificaron las unidades de medición empleadas:

- Líneas del optotipo Snellen.
- Ciclos por grado (cpg) en sensibilidad al contraste
- Supresión interocular medida mediante tareas de percepción binocular.

**Figura 2**  
Diagrama de flujo en modelo PRISMA



A continuación, en la Tabla 2, se presenta un resumen de los artículos seleccionados, detallando su metodología y principales hallazgos.

Este enfoque metodológico garantiza la transparencia y la calidad de la información utilizada en este estudio, asegurando que los hallazgos obtenidos sean relevantes para la

**Tabla 2.**

*Resumen de los estudios seleccionados en la revisión sistemática.*

Autor (Año). Título	Metodología	Principales hallazgos
Birch, E. E. (2013). <i>Amblyopia and binocular vision</i>	Revisión sobre visión binocular	La visión binocular es crucial para la recuperación de la ambliopía. Se destacan terapias que estimulan la cooperación binocular, en contraposición con tratamientos monoculares tradicionales
Clavagnier et al. (2020). <i>Long-term potentiation in human amblyopia</i>	Estudio sobre neuroplasticidad en ambliopía	Se demostró que la potenciación a largo plazo en humanos con ambliopía es posible, sugiriendo que la plasticidad sináptica puede ser reactivada con terapias específicas.

Díaz Núñez & Díaz Núñez (2016). <i>Tratamiento binocular de la ambliopía basado en la realidad virtual</i>	Estudio experimental con RV en pacientes con ambliopía	El uso de RV mejoró la agudeza visual en un 27% en pacientes adultos con ambliopía tras un protocolo de entrenamiento de 6 semanas.
Hess et al. (2015). <i>Amblyopia and the binocular approach to its therapy</i>	Estudio sobre tratamientos binoculares	Los tratamientos binoculares permiten mejorar la supresión interocular y la agudeza visual en comparación con la oclusión convencional.
Hess et al. (2011). <i>Restoration of binocular vision in amblyopia</i>	Ensayo clínico sobre terapias dicópticas	El entrenamiento dicóptico generó mejoras del 40% en la agudeza visual y una reducción del 50% en la supresión interocular en adultos con ambliopía.
Holmes & Clarke (2006). <i>Amblyopia</i>	Revisión epidemiológica	Se estima que la ambliopía afecta al 2-3% de la población y es una de las principales causas de discapacidad visual en un solo ojo.
Levi (2020). <i>Rethinking amblyopia</i>	Revisión sobre plasticidad en ambliopía adulta	Se revisó la plasticidad neuronal en adultos con ambliopía y se concluyó que aún existen mecanismos plásticos que pueden ser aprovechados mediante terapia visual.
Levi & Li (2009). <i>Perceptual learning as a potential treatment for amblyopia: A mini-review</i>	Revisión sobre aprendizaje perceptual en ambliopía	El aprendizaje perceptual mejora la estereopsis y la percepción de contrastes, con avances del 30% en la sensibilidad al contraste tras entrenamiento repetitivo.
Li et al. (2013a). <i>Dichoptic training for adult amblyopic brain. Dichoptic training enables the adult amblyopic brain to learn</i>	Ensayo clínico sobre entrenamiento dicóptico	El entrenamiento dicóptico en adultos con ambliopía mejoró la estereopsis en un 60% y redujo la supresión interocular en un 45%.

Li et al. (2013b). <i>Perceptual learning improves stereoacuity in adults with amblyopia</i>	Evaluación del entrenamiento perceptual	El entrenamiento perceptual incrementó la sensibilidad visual en pacientes adultos con ambliopía, mostrando una mejora de hasta el 35% en la visión binocular. Los videojuegos como <i>Dig Rush</i> permitieron mejoras visuales cuatro veces superiores en comparación con la oclusión del ojo dominante.
Li et al. (2011). <i>Video- game play induces plasticity in the visual system of adults with amblyopia</i>	Pruebas experimentales con videojuegos	Los videojuegos como <i>Dig Rush</i> permitieron mejoras visuales cuatro veces superiores en comparación con la oclusión del ojo dominante.
Mateos-Aparicio & Rodríguez-Moreno (2019). <i>The Impact of Studying Brain Plasticity</i>	Estudio en neurociencia sobre plasticidad cerebral	La plasticidad cerebral puede ser modulada en adultos, lo que apoya la viabilidad de tratamientos terapéuticos basados en neuroplasticidad.
Mendoza-Sigala (2023). <i>Ambliopía: revisión de lo básico a las nuevas líneas de investigación</i>	Revisión sobre avances en tratamientos para ambliopía	Se identificaron avances en la combinación de terapias tradicionales con métodos innovadores como la estimulación transcraneal y la realidad virtual.
Repka et al. (2014). <i>Atropine vs patching for treatment of moderate amblyopia: follow-up at 15 years of age of a randomized clinical trial</i>	Ensayo clínico con atropina vs. parches	El uso de atropina mostró mejoras comparables a la terapia con parches, con una efectividad del 80% en niños, aunque en adultos los resultados fueron menos significativos.
Spiegel et al. (2013). <i>Anodal Transcranial Direct Current Stimulation Enhances Recovery of Stereopsis in Adults With Amblyopia</i>	Ensayo clínico sobre estimulación transcraneal	La estimulación transcraneal mejoró la cooperación binocular en un 35% cuando se combinó con entrenamientos visuales.

Vedamurthy et al. (2016). <i>Mechanisms of recovery of visual function in adult amblyopia through action video game play</i>	Experimentos con videojuegos y recuperación visual	Los videojuegos de acción mejoraron la adherencia al tratamiento y la percepción binocular en adultos con ambliopía, con incrementos del 50% en la sensibilidad visual.
Wallace et al. (2021). <i>Amblyopia treatment: Moving beyond patchin</i>	Revisión sobre tratamientos emergentes	Los tratamientos emergentes, incluyendo la realidad virtual y la estimulación transcraneal, presentan mejores resultados que los métodos convencionales en adultos con ambliopía.
Žiak et al. (2017). <i>Amblyopia treatment of adults with dichoptic training using the virtual reality Oculus Rift head-mounted display: Preliminary results</i>	Estudio clínico con RV y entrenamiento dicóptico	El uso de realidad virtual con entrenamiento dicóptico mostró mejoras del 30% en la agudeza visual y un aumento del 25% en la percepción de profundidad.

evaluación de las estrategias terapéuticas en la ambliopía en adultos.

A pesar del enfoque sistemático empleado, esta revisión presenta ciertas limitaciones:

-Variabilidad en los diseños de los estudios: algunos ensayos clínicos diferían en duración, protocolos de tratamiento y criterios de evaluación.

-Tamaños muestrales pequeños: ciertos estudios incluyeron menos de 50 participantes, lo que limita la generalización de los resultados.

-Falta de ensayos controlados aleatorizados: aunque se analizaron estudios clínicos, en algunos casos no se contó con grupos de control adecuados.

-Efecto placebo y sesgos de publicación: algunos estudios pudieron sobrestimar la efectividad de ciertos tratamientos debido a la falta de blinding en la evaluación.

Estas limitaciones subrayan la necesidad de más estudios longitudinales y ensayos clínicos de mayor escala para consolidar la validez de las terapias emergentes en la ambliopía en adultos.

## RESULTADOS

Los estudios analizados en esta revisión bibliográfica indican que las terapias emergentes para la ambliopía en adultos pueden generar mejoras significativas en la agudeza visual y la cooperación binocular.

Uno de los hallazgos más relevantes es la eficacia de las terapias basadas en realidad virtual (RV). Varios estudios han demostrado que el uso de entornos inmersivos permite una mayor estimulación de la plasticidad neuronal residual en adultos con ambliopía. En particular, los dispositivos de realidad virtual han mostrado mejoras en la agudeza visual y la percepción de profundidad en pacientes sometidos a entrenamientos dicópticos (Žiak et al., 2017).

Por otro lado, los videojuegos terapéuticos han mostrado resultados prometedores en la rehabilitación visual. Estudios como los de Li et al. (2013a) y Vedamurthy et al. (2016) han reportado que videojuegos dicópticos, como *Dig Rush* y versiones modificadas de *Tetris*, han logrado mejorar la agudeza visual y reducir la supresión interocular en adultos con ambliopía. Se ha observado que los participantes que completaron sesiones de entrenamiento visual a través de videojuegos lograron avances hasta cuatro veces superiores en comparación con los tratamientos tradicionales.

En cuanto a la estimulación transcraneal, aunque se encuentra en etapas iniciales de investigación, algunos estudios han demostrado que la aplicación de corrientes eléctricas o magnéticas de baja intensidad en áreas específicas del cerebro puede mejorar la plasticidad cortical y, en combinación con terapias visuales, contribuir a la recuperación de la función binocular (Spiegel et al., 2013).

En general, los resultados sugieren que los enfoques terapéuticos modernos pueden superar las limitaciones de los tratamientos tradicionales al centrarse en la cooperación binocular en lugar de tratar únicamente la agudeza visual monocular. Sin embargo, persisten desafíos en cuanto a la implementación clínica de estas estrategias, incluyendo la adherencia al tratamiento y la accesibilidad a las tecnologías necesarias.

## DISCUSIÓN

Los hallazgos de esta revisión bibliográfica sugieren que las terapias emergentes para la ambliopía en adultos, presentan un potencial significativo para mejorar la función visual. A diferencia de los tratamientos tradicionales, que se centran en la mejora de la agudeza visual monocular, estos enfoques innovadores priorizan la restauración de la visión binocular y la plasticidad cortical residual. Métodos como la oclusión del ojo dominante o la penalización óptica han demostrado poca eficacia en adultos debido a la rigidez de las conexiones neuronales establecidas.

La integración de estos hallazgos en la práctica clínica tiene el potencial de ampliar las opciones terapéuticas disponibles para pacientes adultos, brindando tratamientos más eficaces y adaptables a las necesidades individuales. A continuación, se detallan algunas posibles aplicaciones clínicas de estos enfoques innovadores:

-Uso de realidad virtual en terapias personalizadas: las aplicaciones de realidad

virtual pueden diseñarse para adaptarse a cada paciente, ajustando el nivel de dificultad y el tipo de estímulos según el progreso individual. Esto podría incorporarse en clínicas especializadas como una alternativa o complemento a los tratamientos convencionales.

-Incorporación de videojuegos terapéuticos en planes de tratamiento: estudios han demostrado que los videojuegos dicópticos pueden mejorar la adherencia al tratamiento, lo que permitiría sustituir o complementar el uso del parche ocular en adultos, mejorando la motivación del paciente.

-Uso combinado de estimulación transcraneal y entrenamiento visual: aunque aún se encuentra en una fase experimental, la estimulación transcraneal podría ser incorporada en protocolos terapéuticos para potenciar la plasticidad cerebral, combinándola con ejercicios visuales estructurados.

-Monitorización de la progresión del tratamiento mediante herramientas digitales: el uso de aplicaciones móviles y dispositivos de seguimiento podría facilitar un monitoreo en tiempo real de la evolución de los pacientes, permitiendo ajustes personalizados en los tratamientos sin necesidad de visitas constantes a la clínica.

-Mayor accesibilidad a terapias en entornos domiciliarios: la posibilidad de utilizar dispositivos de realidad virtual y videojuegos en casa podría hacer que estos tratamientos sean más accesibles y reducir

la necesidad de desplazamientos frecuentes a centros especializados.

A pesar del potencial terapéutico de estos enfoques, existen varios desafíos que deben abordarse antes de que puedan ser adoptados de manera generalizada en la práctica clínica. Entre los principales obstáculos se encuentran:

-Accesibilidad y costo: el uso de tecnología avanzada, como dispositivos de realidad virtual y sistemas de estimulación transcraneal, puede representar un costo elevado, limitando su acceso en ciertos entornos clínicos o regiones con menos recursos.

-Necesidad de estudios clínicos a largo plazo: aunque los resultados preliminares son prometedores, la mayoría de los estudios han evaluado los efectos de estas terapias en periodos relativamente cortos. Se requieren ensayos clínicos con seguimiento a largo plazo para confirmar la sostenibilidad de los beneficios obtenidos.

-Estandarización de protocolos de tratamiento: actualmente, no existe un consenso sobre la duración óptima, la frecuencia y la combinación ideal de terapias para maximizar los efectos terapéuticos en adultos con ambliopía.

-Variabilidad en la respuesta al tratamiento: no todos los pacientes responden de la misma manera a estas terapias. Factores como la severidad de la ambliopía, la edad y la adherencia al tratamiento pueden influir en los resultados.

-Falta de formación en profesionales de la salud visual: La implementación de estos tratamientos requiere capacitación especializada en el uso de tecnologías emergentes, lo que implica un esfuerzo adicional en la educación y formación de optometristas y oftalmólogos.

En resumen, aunque los resultados obtenidos hasta el momento respaldan la viabilidad de estas terapias, su aplicación a gran escala requerirá esfuerzos en términos de accesibilidad, validación científica y formación profesional.

Para mejorar la aplicabilidad de estos tratamientos, se recomienda el desarrollo de protocolos estandarizados que combinen múltiples enfoques terapéuticos. Además, futuras investigaciones deben centrarse en evaluar la efectividad de estas terapias en estudios clínicos de mayor escala, así como en el impacto de factores como la edad del paciente, la severidad de la ambliopía y la duración del tratamiento.

## CONCLUSIÓN

El tratamiento de la ambliopía en adultos ha sido un desafío debido a la creencia de que la plasticidad cerebral es limitada después de la infancia. Sin embargo, esta revisión ha demostrado que la plasticidad neuronal en adultos puede ser estimulada mediante enfoques innovadores, abriendo nuevas oportunidades terapéuticas para esta población.

Los estudios revisados han evidenciado mejoras en la agudeza visual, la cooperación binocular y la reducción de la supresión interocular, lo que indica que la ambliopía en adultos podría beneficiarse de tratamientos alternativos.

A diferencia de los métodos tradicionales como la oclusión con parches o la penalización óptica, que han mostrado eficacia limitada en adultos, las nuevas estrategias terapéuticas proporcionan opciones más dinámicas y atractivas, favoreciendo una mayor adherencia al tratamiento y mejores resultados clínicos.

A pesar de estos avances, aún existen desafíos en la implementación clínica de estas estrategias, principalmente en lo que respecta a costos, accesibilidad, variabilidad en la respuesta al tratamiento y necesidad de protocolos estandarizados. No obstante, con la realización de más estudios longitudinales y el desarrollo de guías clínicas adecuadas, estas terapias podrían convertirse en una alternativa viable y efectiva para la rehabilitación visual en adultos con ambliopía.

Para consolidar la efectividad y viabilidad de estos tratamientos, se proponen las siguientes líneas de investigación:

-Ensayos clínicos a largo plazo: se requieren estudios con seguimiento prolongado para evaluar si los efectos terapéuticos de la realidad virtual, los videojuegos terapéuticos y la estimulación transcraneal son sostenibles en el tiempo.

-Combinación de múltiples enfoques terapéuticos: investigaciones futuras deberían evaluar la eficacia de terapias combinadas, como la realidad virtual junto con la estimulación transcraneal, para determinar si se pueden potenciar los beneficios terapéuticos cuando se usan en conjunto.

-Desarrollo de protocolos personalizados: Estudios adicionales podrían centrarse en identificar qué factores individuales (edad, tipo y severidad de la ambliopía, tiempo de exposición al tratamiento) predicen una mejor respuesta a cada terapia, permitiendo un tratamiento más personalizado.

-Evaluación del impacto psicosocial del tratamiento: Aunque la mayoría de los estudios han medido mejoras en la agudeza visual y la visión binocular, es importante analizar cómo estas terapias afectan la calidad de vida y el bienestar emocional de los pacientes adultos con ambliopía.

-Accesibilidad y democratización del tratamiento: Futuros estudios deberían explorar cómo hacer que estas terapias sean más accesibles para una mayor cantidad de pacientes, por ejemplo, mediante el desarrollo de aplicaciones móviles o la optimización de dispositivos de bajo costo.

En definitiva, los avances en neurociencia y tecnología han transformado el panorama del tratamiento de la ambliopía en adultos, ofreciendo alternativas más efectivas y motivadoras. La integración de estas estrategias terapéuticas en la práctica clínica, junto con estudios más robustos y

accesibilidad mejorada, podría marcar un cambio significativo en la rehabilitación visual de los pacientes adultos con ambliopía.

## REFERENCIAS

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

Clavagnier, S., Thompson, B., & Hess, R. F. (2020). *Long-term potentiation in human amblyopia. Current Biology*, 30(5), 987-994.

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), 674-686.

Hess, R. F., & Thompson, B. (2015). *Amblyopia and the binocular approach to its therapy. Vision Research*, 114, 4-16.

Hess, R. F., Mansouri, B., & Thompson, B. (2011). *Restoration of binocular vision in amblyopia. Strabismus*, 22(1), 18-23.

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

Levi, D. M. (2020). *Rethinking amblyopia 2020. Vision Research*, 176, 118-129.

Levi, D. M., & Li, R. W. (2009). *Perceptual learning as a potential treatment for amblyopia: A mini-review. Vision*

- Research*, 49(21), 2535-2549.
- Li, J., Thompson, B., Deng, D., Chan, L. Y., Yu, M., & Hess, R. F. (2013a). Dichoptic training enables the adult amblyopic brain to learn. *Current Biology*, 23(8), R308- R309.
- Li, J., Thompson, B., Deng, D., Chan, L. Y., Yu, M., & Hess, R. F. (2013b). *Perceptual learning improves stereoacuity in adults with amblyopia. Investigative Ophthalmology & Visual Science*, 54(6), 3768-3777.
- 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*, 13(5), e1002264.
- Mateos-Aparicio, P., & Rodríguez-Moreno, A. (2019). *The Impact of Studying Brain Plasticity. Frontiers in Cellular Neuroscience*, 13, 66.
- Mendoza-Sigala, M. (2023). *Ambliopía: revisión de lo básico a las nuevas líneas de investigación. AEB Medicine*, 1(1).
- Repka, M. X., Kraker, R. T., Holmes, J. M., Summers, A. I., Glaser, S. R., Barnhardt, C. N., ... & Pediatric Eye Disease Investigator Group. (2014). *Atropine vs patching for treatment of moderate amblyopia: follow-up at 15 years of age of a randomized clinical trial. JAMA ophthalmology*, 132(7), 799-805.
- Spiegel, D. P., Byblow, W. D., Hess, R. F., & Thompson, B. (2013). *Anodal Transcranial Direct Current Stimulation Enhances Recovery of Stereopsis in Adults With Amblyopia. Neurorehabilitation and Neural Repair*, 27(8), 731-739.
- Vedamurthy, I., Nahum, M., Bavelier, D., & Levi, D. M. (2016). *Mechanisms of recovery of visual function in adult amblyopia through action video game play. Journal of Vision*, 16(7), 1-15.
- Wallace, D. K., Lazar, E. L., Melia, B. M., & Kraker, R. T. (2021). *Amblyopia treatment: Moving beyond patching. JAMA Ophthalmology*, 139(3), 299-306.
- Žiak, P., Holm, A., Halstead, M., & Tornqvist, K. (2017). *Amblyopia treatment of adults with dichoptic training using the virtual reality Oculus Rift head-mounted display: Preliminary results. BMC Ophthalmology*, 17(105), 1-8.