



---

**Universidad de Valladolid**

FACULTAD DE MEDICINA

# **Máster en Rehabilitación Visual**

MEMORIA TRABAJO FIN DE MÁSTER TITULADO

Sistemas de Realidad Virtual y Realidad  
Aumentada en pacientes con Baja Visión.

Presentado por Rocío Espinosa de la Rosa

Tutelado por: Elena Martínez Plaza

En Valladolid, a 02 de Junio de 2023

# ÍNDICE

RESUMEN .....	<a href="#">2</a>
LISTA DE ABREVIATURAS.....	<a href="#">4</a>
INTRODUCCIÓN .....	<a href="#">5</a>
Realidad Virtual y Realidad Aumentada .....	<a href="#">6</a>
La actualidad: RV y RA en Baja Visión .....	<a href="#">8</a>
OBJETIVOS .....	<a href="#">9</a>
MATERIALES Y MÉTODOS .....	<a href="#">10</a>
Estrategias de búsqueda.....	<a href="#">10</a>
Recogida de datos .....	<a href="#">10</a>
RESULTADOS .....	<a href="#">11</a>
Objetivos del uso de dispositivos de simulación artificial en BV .....	<a href="#">14</a>
Dispositivos existentes .....	<a href="#">15</a>
Resultados obtenidos en los estudios incluidos .....	<a href="#">16</a>
DISCUSIÓN .....	<a href="#">17</a>
Uso de dispositivos de Realidad Virtual en Baja Visión .....	<a href="#">17</a>
Uso de dispositivos de Realidad Aumentada en Baja Visión .....	<a href="#">19</a>
CONCLUSIONES.....	<a href="#">22</a>
BIBLIOGRAFÍA .....	<a href="#">23</a>

## **ABSTRACT**

Given the advancement of technology in the development of different Virtual Reality (VR) and Augmented Reality (AR) devices, the need arises to compile the data published in the different studies and scientific articles on the use of these devices in the field of low vision and visual rehabilitation. This literature review attempts to identify the different VR and AR devices currently existing and to evaluate the potential of these devices to test and rehabilitate functional vision in people with low vision.

There are a total of 16 papers, found in a search performed in different databases including the keywords "low vision", "augmented reality", "virtual reality", "virtual reality", "brain injury", "visual disease" and published between 2017 and 2023.

Results were found indicative of the importance of the use of VR and AR systems in low vision and visual rehabilitation to: simulate visual conditions and recreate everyday life situations, create a systematic evaluation or training system, and maximize residual vision through real image processing.

**Keywords:** Visual Rehabilitation, Low Vision, Virtual Reality, Augmented Reality.

## **RESUMEN**

Dado el avance de la tecnología en el desarrollo de los diferentes dispositivos de Realidad Virtual (RV) y Realidad Aumentada (RA), surge la necesidad de recopilar los datos publicados en los diferentes estudios y artículos científicos sobre el uso de estos dispositivos en el campo de la baja visión y la rehabilitación visual. Esta revisión bibliográfica trata de identificar los diferentes dispositivos de RV y RA existentes en la actualidad y evaluar el potencial de estos dispositivos para examinar y rehabilitar la visión funcional de las personas con baja visión.

Se cuenta con un total de 16 documentos, encontrados en una búsqueda realizada en diferentes bases de datos incluyendo las palabras clave "low vision", "augmented reality", "virtual reality", "brain injury", "visual disease" y publicados

entre 2017 y 2023.

Se encontraron resultados indicativos de la importancia del uso de los sistemas de RV y RA en baja visión y rehabilitación visual para: simular las condiciones visuales y recrear situaciones de la vida cotidiana, crear un sistema de evaluación o entrenamiento sistemático y maximizar la visión residual mediante el tratamiento de la imagen real.

**Palabras clave:** Rehabilitación Visual, Baja Visión, Realidad Virtual, Realidad Aumentada.

## LISTA DE ABREVIATURAS

AV: Agudeza Visual

AVDs: Actividades de la Vida Diaria

CIF: Clasificación Internacional del Funcionamiento, de la Discapacidad y de la Salud

CV: Campo Visual

DMAE: Degeneración Macular Asociada a la Edad

HMD: Head Mounted Display (*“Pantalla montada en la cabeza”*)

OMS: Organización Mundial de la Salud

RA: Realidad Aumentada

RAE: Real Academia Española

RV: Realidad Virtual

SC: Sensibilidad al Contraste

# 1. INTRODUCCIÓN

Según datos del Informe Mundial sobre la Visión de la OMS en 2019, se calcula que al menos 2200 millones de personas tienen deficiencia visual o ceguera, y se prevé que siga subiendo conforme aumente la población de edad avanzada.

La Clasificación Internacional del Funcionamiento, de la Discapacidad y de la Salud (CIF, 2001) define una deficiencia como “un problema en las funciones o estructuras corporales de una persona debido a una condición de salud”; por lo tanto, hablamos de deficiencia visual cuando una enfermedad ocular afecta el sistema visual y una o más de sus funciones.

En base a la clasificación vigente por la Organización Mundial de la Salud (OMS, 2020), se entiende por deficiencia visual leve aquella situación en la que el mejor ojo tiene una agudeza visual (AV)  $<6/12$  y  $\geq 6/18$ , moderada cuando el mejor ojo tiene una AV  $<6/18$  y  $\geq 6/60$ , grave cuando el mejor ojo tiene una AV  $<6/60$  y  $\geq 3/60$  o un campo visual (CV) central menor a  $20^\circ$  y ceguera total (legal) cuando el mejor ojo tiene una AV  $<3/60$  o un CV central menor a  $10^\circ$ .

Entre estos pacientes están los que categorizamos con “baja visión”, que según el ICD-10 (OMS, 2020) abarca desde deficiencia visual moderada hasta ceguera. Se define baja visión como “una pérdida de la capacidad visual que no puede ser corregida con gafas, lentes de contacto, fármacos o cirugía”. Las causas que originan esta condición visual son variadas; pueden ser tanto enfermedades oculares (DMAE, glaucoma, retinopatía diabética...), como causadas por traumatismos, lesiones neurológicas, congénitas, etc. Por esto, los pacientes con baja visión tendrán diferentes síntomas: baja AV, deslumbramiento, ceguera nocturna, baja sensibilidad al contraste (SC), pérdida del CV periférico o escotomas centrales (Coco, M.B. et al., 2018).

Los pacientes con baja visión tienen visión residual, es decir, no son totalmente ciegos, pero sí tendrán amplias limitaciones en su día a día que diferirán dependiendo de cada causa y cada caso. Además, suele ser una condición permanente que no tiene solución, por lo que es primordial en estos casos el papel del óptico optometrista como rehabilitador.

La rehabilitación visual en baja visión consiste en el entrenamiento de un nuevo comportamiento visual, o, dicho de otra manera, la adquisición de nuevas destrezas y conductas adaptativas con el fin de facilitar las técnicas y adaptar las ayudas ópticas y no ópticas necesarias para conseguir el máximo aprovechamiento de la visión residual (Scheiman et al., 2007)

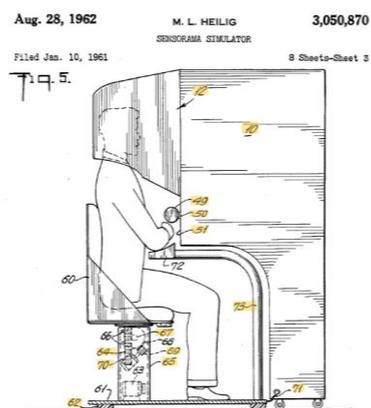
Actualmente existen múltiples ayudas disponibles para la rehabilitación visual, desde las más clásicas como lupas, telescopios y microscopios, filtros selectivos para la luz y atriles, entre otros, hasta llegar a las más innovadoras y las cuales son objetivo de esta revisión bibliográfica: las ayudas de Realidad Virtual y Realidad Aumentada.

### 1.1. Realidad Virtual y Realidad Aumentada

En 1962, Morton Heilig patentó el Sensorama (Figura 1), lo que se considera el primer sistema de realidad virtual. Este proyecto pretendía crear una experiencia de inmersión sensorial total a través de estímulos visuales, vibraciones, sonidos e incluso olores. Después, Ivan Sutherland en 1968 lo llevó a una pantalla montada en la cabeza, *head mounted display* (HMD), y creó un entorno inmersivo e interactivo, lo que ya se identifica con una experiencia de realidad virtual moderna (Sherman y Craig, 2003).



(a)



(b)

Figura 1. Sensorama

(a) Anuncio Sensorama Machine, (1962), Recuperado 2008 <https://proyectoidis.org/sensorama/>  
(b) Patente Sensorama (1962), <https://patents.google.com/patent/US3050870A/>

En 2022 la RAE define Realidad Virtual (RV) como la “representación de escenas o imágenes de objetos producida por un sistema informático, que da la sensación de su existencia real”. Es decir, hablamos de un entorno que carece de elementos reales, generado totalmente mediante tecnología y que crea en el usuario (actualmente a través de gafas o cascos) la sensación de estar inmerso en él.

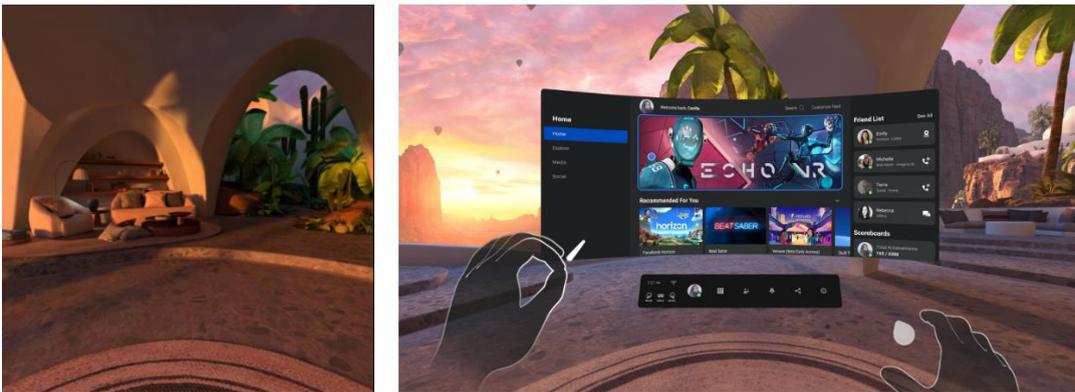


Figura 2. Entorno Inmersivo creado por las gafas de VR Meta Quest 2.

*MetaQuestVR (4 de agosto de 2021) [www.twitter.com](https://www.twitter.com)*

La Realidad Aumentada (RA), en cambio, se refiere a la tecnología que ofrece experiencias interactivas al usuario a partir de la combinación de un entorno mayoritariamente real, pero con elementos virtuales. Es decir, proyecta información virtual como imágenes, texto, gráficos o personajes en el mundo real. Para ello, se necesitan (al menos) tres componentes: una cámara de entrada, un software que procese la imagen y un dispositivo de salida (teléfono móvil, Tablet, gafas...).

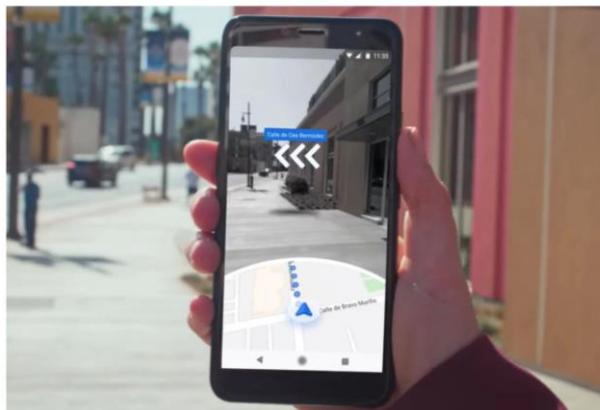


Figura 3. Navegación con Realidad Aumentada.

*Cosmos, CC. (21 de mayo de 2022) Live View de Google Maps. [www.xatakandroid.com/](https://www.xatakandroid.com/)*

Una de las cualidades más ventajosas y prácticas de la RA, sobre todo en el campo de la baja visión y la rehabilitación visual, es la capacidad de ofrecer una interacción en tiempo real y adaptarse al entorno.

### *1.2. La actualidad: Realidad Virtual y Realidad Aumentada en Baja Visión*

A día de hoy, tanto la RV como la RA, juegan un papel más que importante en el campo de la baja visión.

En cuanto a los sistemas de RV, se usan principalmente para dos tareas. En primer lugar, para la simulación de defectos visuales en pacientes sanos, que permitan (además de la empatía) tanto el estudio de la calidad de vida, movilidad, etc de los pacientes con discapacidad visual, como la evaluación de las ayudas ópticas y no ópticas en la creación de programas de rehabilitación visual con el fin de identificar las limitaciones e intentar solucionarlas. En segundo lugar, el entrenamiento de los pacientes con diferentes patologías causantes de baja visión en actividades básicas de la vida diaria en consulta, simulando un entorno virtual antes de ponerlo en práctica en la realidad.

Por otro lado, los sistemas de RA no sólo sirven para la realización de ensayos, evaluaciones o entrenamientos en pacientes con discapacidad visual, sino que, además, pueden proporcionar una ayuda directa para realizar numerosas actividades del día a día. El uso de aplicaciones móviles, un HDM, o unas gafas de RA en pacientes de baja visión puede ser un gran aliado tanto del paciente como del rehabilitador para conseguir un mayor aprovechamiento del resto visual y una mejora de la calidad de vida, permitiendo mejorar la AV, SC y defectos de CV entre otras características.

En base a la relevancia actual de las tecnologías de RV y RA, las cuales se encuentran en continuo avance y desarrollo, y anticipando su uso extensivo en pacientes con baja visión, se pretende realizar una revisión bibliográfica con el fin de recopilar los datos publicados y describir los diferentes dispositivos existentes, su uso y su eficacia en el campo de la rehabilitación visual.

## **2. OBJETIVOS**

-Identificar los diferentes dispositivos de RV y RA existentes en la actualidad.

-Evaluar el potencial de estos dispositivos para examinar y rehabilitar la visión funcional de las personas con baja visión.

### 3. MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1. Estrategia de búsqueda

Se realizó una búsqueda bibliográfica de artículos científicos publicados en las bases de datos Pubmed, Medline, Embase, Crochane, Scopus, Ovid, Dialnet y Almena, en fechas comprendidas desde Enero del 2017 a Marzo de 2023. Se incluyeron artículos escritos en inglés, utilizando los siguientes términos descriptores: “Realidad Virtual”, “Realidad Aumentada”, “Baja Visión” y “Rehabilitación Visual”. Los artículos se examinaron en tres etapas: (1) a partir del título, (2) a partir del resumen y (3) a partir del texto completo.

Se excluyeron todos los estudios publicados con anterioridad a las fechas indicadas de cara a evitar posibles trabajos desactualizados con resultados sesgados por el uso de dispositivos más antiguos.

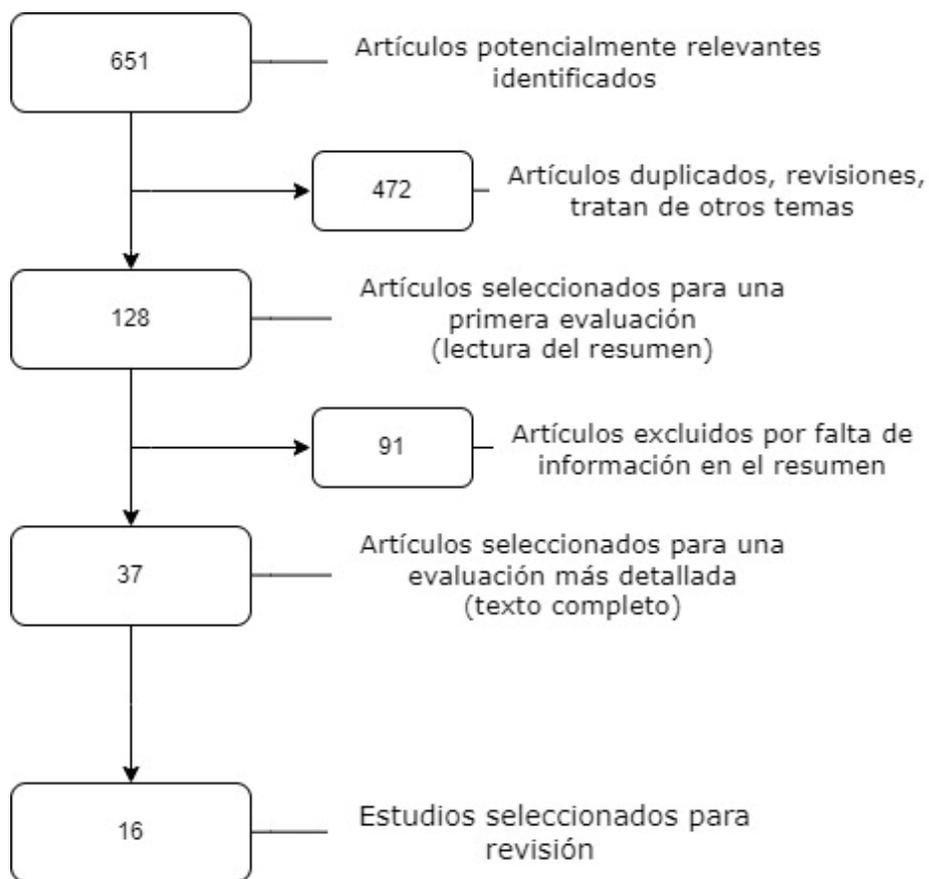
Se excluyeron los resúmenes, estudios cualitativos, artículos de revisión y la literatura no revisada por pares antes de su publicación.

#### 3.2. Recogida de datos

Se ha extraído información sobre los diferentes dispositivos utilizados, el diseño del estudio, las características y número de participantes, las condiciones visuales iniciales, el método de intervención, las variables que evalúan: (a) de visión (AV, SC, CV, MNREAD, fijación, movimientos oculares de seguimiento, búsqueda y detección de objetos, etc), (b) movilidad (tiempo e identificación de obstáculos) y (c) calidad de vida de los usuarios; así como los resultados obtenidos para cada estudio.

## 4. RESULTADOS

Una primera búsqueda en la bibliografía actual, resultó con 651 artículos potencialmente relevantes, pero incluían algunos repetidos. Una vez eliminados los duplicados, se examinaron los restantes de acuerdo a los métodos descritos anteriormente. Se evaluaron los resúmenes de 128 artículos, de los que se seleccionaron 37 para su posible inclusión. Después de revisar el texto completo, incluyeron un total de 16 estudios en esta revisión.



La Tabla 1 muestra la relación de estudios revisados incluyendo las características específicas de cada uno de ellos. De todos los artículos incluidos, solo en 3 se usan únicamente dispositivos de RV, en 12 dispositivos de RA y en uno se complementa el uso de un dispositivo de RV y RA.

En 6 de los estudios todos los participantes son individuos con visión normal, en uno (1) se incluyen pacientes ciegos, mientras que en el resto de ensayos incluidos (10) los participantes tenían baja visión.

**Tabla 1. Características descriptivas de los artículos científicos revisados.**

REFERENCIA	TIPO DE ESTUDIO	DISPOSITIVO	INCLUSIÓN	CONDICIONES VISUALES INICIALES	INTERVENCIÓN	EVALUACIÓN	RESULTADOS
Daga, FB. et al. (2017)	Estudio transversal (1 visita de estudio)	Gafas de RV	51 participantes • 31 con glaucoma • 20 visión normal	• Pacientes con glaucoma: CV reducido • Pacientes visión normal: CV normal	Presentación de diferentes escenarios mediante RV inmersiva.	Compara resultados de búsqueda de los pacientes con defecto de CV y los pacientes con CV normal.	Peores resultados (mayor tiempo) en pacientes con glaucoma. Pérdida de CV afecta a la orientación.
Kinateder, M. et al. (2018) A	Estudio observacional (1 visita de estudio)	Gafas de RA (Hololens)	4 participantes	Baja visión	Mejora de la imagen mediante RA con alto contraste	Medida del efecto de la RA examinando con y sin la ayuda: - Reconocimiento de poses, objetos, movilidad	Mejoras en la identificación de objetos y obstáculos. Poco concluyentes por el tamaño de muestra.
Kinateder, M. et al. (2018) B	Estudio controlado aleatorizado (1 visita de estudio)	Gafas de RA (Hololens)	48 participantes	Visión normal	Pérdida de visión simulada. Mejora de la imagen mediante RA con alto contraste.	Medida del efecto de la RA examinando con y sin la ayuda: - Reconocimiento de poses, gestos, objetos y movilidad	Mejora de la precisión y confianza en reconocimiento de objetos y gestos con la RA. No se observan diferencias en el reconocimiento de posturas y movilidad.
Wittich, W. et al. (2018)	Ensayo prospectivo (3 meses: Visita inicial sin dispositivo, visita 2 con dispositivo 2-3sem de uso, visita 3 tras 3 meses de uso del dispositivo en casa)	Gafas RA (eSight)	74 participantes inician el estudio, 51 lo finalizan • 17 abandonos en la 1a fase (no se llevan el dispositivo a casa) • 6 abandonos en la 2a (no completan los datos)	Baja visión: • $20/60 \geq AV$ mejor ojo $\geq 20/400$ • $CV > 20^\circ$ • 6 meses estable	Uso de eSight: presentación de una imagen ampliada y mejorada del entorno en tiempo real.	Al inicio, en la adaptación y a los 3 meses medidas de: • MNREAD • SC • AVDs • Calidad de vida	Mejora de la AV lejana, SC y AV cercana con el uso de eSight. Efecto moderado en la velocidad lectora. Aumento de la puntuación en un cuestionario de ADVs, reconocimiento de caras y calidad de vida.
Angelopoulos, AN. et al. (2019)	Ensayo aleatorizado (1 visita de estudio)	Gafa RA (Hololens) + wireframe pseudocolor	10 participantes	Retinosis pigmentaria • $AV < 20/80$ • $CV < 30^\circ$	Uso de Hololens + wireframe pseudocolor: resaltado de bordes y formas con diferentes colores.	Carrera de obstáculos con o sin RA: Medida de la movilidad y el agarre de objetos	El uso de la RA redujo los errores y aminoró el tiempo tanto en las pruebas de agarre como de movilidad.
Deemer, AD. et al. (2019)	Estudio observacional (7-10 días: visita inicial y tras el uso en casa del dispositivo)	Gafas RA (IrisVision: *estudio hecho con Samsung Gear VR + telescopio bióptico*)	30 participantes • 1 abandono	• $20/100 > AV$ mejor ojo $> 20/400$ • Escotomas centrales bilaterales	Telescopio bióptico digital: aumento enfocable de una parte del CV sin perder el contexto del CV periférico sin ampliar.	Medida (con y sin RA) de: • Movilidad • Función visual • Lectura	Mejoras con la RA en las medidas de función visual y lectura. No mejoras en la movilidad.
Ho, E., et al. (2019)	Estudio observacional. (1 visita de estudio)	Gafas RA	19 participantes	Visión normal	Simulación de pérdida de CV central y visión protésica con diferentes resoluciones	Evaluación de la mejor resolución mediante: • Tablas de visión • Lectura • Reconocimiento de caras	Viabilidad de visión protésica central. Mejor rendimiento con píxeles más pequeños. (La velocidad de lectura disminuye al aumentar el tamaño de píxeles)

							y reducir el CV. En reconocimiento facial, se obtienen los mejores resultados con píxeles de 60lm).
Coughlan, JM. et al. (2020)	Estudio observacional. (1 visita de estudio)	Gafas RA (CamIO)	4 participantes	Ciegos totales	Guía especial 3D con feedback de respuesta sonora	Realización de 20 ensayos/persona de búsqueda y acceso en laberintos.	Menores tiempos en búsqueda con el uso de CamIO.
Gopalakrishnan, S. et al. (2020)	Estudio prospectivo. (1 visita de estudio)	Dispositivo RA (Samsung Gear VR + App Relumino)	100 participantes	Baja visión: <ul style="list-style-type: none"> <li>6/18&gt;AV mejor ojo &gt; LUZ</li> <li>CV &lt; 10° desde el punto de fijación.</li> </ul>	Procesamiento de imágenes en tiempo real que se proyecta en las gafas RV. En este estudio, solo se usa la ampliación variable de la imagen.	Medida AV lejos y cerca con la mejor RX, con la ayuda de BV prescrita y con el dispositivo de RA.	Usando el dispositivo RA, la medida de la agudeza visual de lejos y cerca mejoraron sustancialmente.
Jones, PR. et al. (2020)	Estudio observacional. (1 visita de estudio)	Gafas RV y RA (OpenVisSim)	23 participantes	Visión normal	Simulación de diferentes escotomas en CV (basados en paciente de glaucoma) en entornos reales y virtuales (RA-RV)	Capacidad de los simuladores RV y RA para reproducir y cuantificar efectos de deficiencias visuales Medición del tiempo en: <ul style="list-style-type: none"> <li>Tareas de búsqueda (RV)</li> <li>Tareas de movilidad (RA)</li> </ul>	Las deficiencias simuladas afectaron sustancialmente al rendimiento en ambas tareas. Diferencia de resultados según la ubicación del escotoma (peores en escotomas inferiores).
Sánchez-García, M. et al. (2020)	Estudio aleatorizado (1 visita de estudio)	Gafas de RV	24 participantes	Visión normal	Presentación de diferentes escenas panorámicas mediante RV, de diferentes resoluciones y CVs	Evaluación de la influencia del CV respecto a la resolución en prótesis oculares <ul style="list-style-type: none"> <li>Medida de la precisión y tiempo de respuesta en tareas de búsqueda y reconocimiento.</li> </ul>	La precisión y el tiempo de respuesta disminuyen cuando aumenta el CV. El rendimiento disminuye mucho cuando disminuye la resolución.
Sayed, AM. et al. (2020)	Estudio aleatorizado (1 visita de estudio)	Gafas de RA (AR Dspecs)	21 participantes	<ul style="list-style-type: none"> <li>Defectos de CV periféricos</li> <li>Capacidad física</li> </ul>	Creación de un circuito con obstáculos para realizar con las gafas AR Dspecs: procesamiento de imagen real y proyección de elementos virtuales (mejora de bordes, aumento de contraste...)	Realización de un circuito sin y con la ayuda AR. <ul style="list-style-type: none"> <li>Detección objetos,</li> <li>Reconocimiento de formas</li> <li>Movimiento ocular: número y duración de las fijaciones, amplitud sacádica, dirección de mirada, etc.</li> </ul>	Mejora con el dispositivo AR: En detección de objetos y reconocimiento de formas y en la fijación y trayectoria de mirada.
Stöhr, M. et al. (2020)	Estudio cohortes (1 visita de estudio)	Láser-gafas RA (LEW o RILEW)	20 participantes	Visión normal <ul style="list-style-type: none"> <li>Miopía, hipermetropía, astigmatismo o presbicia entre -7 y +6 dp</li> </ul>	Presentación en tiempo real de un video a color directamente en la retina (monocular) como RA en el CV central mediante laser RGB (permitiendo visión periférica)	<ul style="list-style-type: none"> <li>Medida de la AV de lejos (sin corrección, con RILEW y con corrección).</li> <li>Medida de la velocidad lectora (con RILEW, con corrección y sin corrección)</li> </ul>	No se encontró relación entre la RX y la AV al usar LEW.  Dispositivo útil en pacientes con patologías de córnea intratables para lograr mayor AV.
Lorenzini, M., Wittich, W. (2021)	Estudio aleatorizado (6 meses: Visita inicial sin dispositivo,	Gafas RA (eSight)	57 participantes <ul style="list-style-type: none"> <li>35% abandono</li> </ul>	Baja visión: Usuarios principiantes de eSight	Telerrehabilitación con las gafas de RA eSight y autoformación con instrucciones del fabricante.	<ul style="list-style-type: none"> <li>Diferencias de resultados entre telerrehabilitación / autoformación.</li> </ul>	Mejora en las AVDs con el dispositivo, tanto en el grupo que recibió telerrehabilitación como en el de

	visita 2 con dispositivo 2-3sem de uso, visita telefónica tras 3 meses de uso en casa y visita final tras 6 meses de uso en casa)						autoformación.
						<ul style="list-style-type: none"> <li>Evaluación del funcionamiento de telerrehabilitación: cuestionarios de calidad de vida (2 sem, 3 y 6 meses)</li> </ul>	La calidad de vida mejoró con el uso de la tecnología. Se observan mejoras a las 2 semanas que se mantienen los 6 meses.
Asher, JM., Hibbard, PB. (2022)	Estudio observacional (1 visita de estudio)	Gafas RA	33 participantes	Visión normal	Simulación de pérdida de CV (escotomas izquierdos o derechos aleatoriamente). Superposición de imagen minificada de la escena.	Evaluación de la precisión especial mediante una tarea de bisección de líneas: Condiciones iniciales, con escotoma simulado y con escotoma + Ventana minificada del CV.	Un escotoma simulado perjudica el rendimiento de la tarea. El procesamiento de mejora de la imagen mejora la precisión en la tarea.
Kartha, A. et al. (2023)	Estudio aleatorizado (1 visita de estudio)	Gafas RV	37 participantes	Visión ultrabaja (ULW) <ul style="list-style-type: none"> <li>LUZ&lt;AV≤20/1600</li> </ul>	Presentación de diferentes escenas mediante RV.	Evaluación sin y con RV del rendimiento visual con diferentes niveles de dificultad en tareas de: localización/detección espacial, y detección-dirección del movimiento	Alta capacidad de repetibilidad de la RV. Se obtienen valores que permiten estandarizar la visión de estos pacientes.

#### 4.1. Objetivos del uso de dispositivos de simulación artificial en Baja Visión

Los artículos que incluyen el uso de RV tienen dos objetivos principales: reproducir las condiciones visuales de personas con pérdida visual en personas con visión normal (Jones et al., 2020) y crear variedad de escenarios con opciones de repetibilidad para la evaluación visual (Daga et al., 2017; Sánchez-García et al., 2020 y Kartha et al., 2023).

Los estudios de RA expuestos tienen, de igual modo, 2 objetivos claves. El primero, compartido con los anteriores, la recreación de problemas visuales en personas con visión normal superponiendo defectos de CV (escotomas centrales o periféricos) a la imagen real en personas con visión normal (Kinatender et al., 2018B; Ho et al., 2019; Jones et al., 2020 y Asher y Hibbard, 2022). El segundo, evaluar los efectos de un tipo de dispositivo concreto y/o su funcionamiento, bien en personas con visión normal (Stöhr et al., 2020), ciegos totales (Coughlan et al., 2020), con baja visión (Kinatender et al., 2018A; Wittich et al. 2018; Angelopoulos et al., 2019; Deemer et al., 2019; Gopalakrishnan et al., 2020; Sayed et al., 2020 y Lorenzini y Wittich 2021) o, combinando ambos objetivos, en personas con visión normal a las que se le está simulando el defecto visual

(Kinatender et al., 2018B; Ho et al., 2019 y Asher et al., 2022).

#### 4.2. Dispositivos existentes

La totalidad de los estudios revisados utilizaron dispositivos HMD, con diferentes diseños basados en mejorar la comodidad y ergonomía. En algunos casos se utilizan como único dispositivo y, en otros, junto con aplicaciones móviles.

Aunque la base del dispositivo sea similar, se observa la variedad de simuladores patentados por diferentes marcas: Hololens (Figura 1.a), eSight (Figura 1.b), Samsung Gear VR (Figura 1.c), CamIO, OpenVisSim, ARDSpecs (Figura 1.d) y RILEW. No obstante, también encontramos algunos estudios que valoran los efectos de un dispositivo desconocido o no especificado, concretamente los expuestos por Daga et al. (2017), Ho et al. (2019), Sánchez-García et al. (2020) y Kartha et al. (2023).



Figura 4.

- (a) Microsoft. HoloLens Generación 1 (2023) <https://learn.microsoft.com/es-es/hololens> ;  
(b) eSight. Gafas RA eSight 3 (2017) <https://www.esighteyewear.com/> ;  
(c) Samsung. Samsung Gear VR (2017) <https://www.samsung.com/> ;  
(d) Sayed et al. AR DSpecs (2020) <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0240509.g001>

#### *4.3. Resultados obtenidos en los estudios incluidos*

De los artículos examinados, en todos los que tienen como objetivo la evaluación de un dispositivo de simulación como ayuda para la rehabilitación visual en pacientes de baja visión, se obtienen resultados favorables con el uso de ambos tipos de simuladores, tanto en variables visuales (mejora en las medidas de AV, SC, MNREAD, reconocimiento de caras o gestos, detección y seguimiento de objetos, movimientos oculares, fijación) y de movilidad (detección de obstáculos, tiempo de búsqueda, ADVs) como en los cuestionarios subjetivos de calidad de vida.

## 5. DISCUSIÓN

### 5.1. Uso de dispositivos de Realidad Virtual en Baja Visión

Si bien es verdad que no se considera su uso en ningún caso como una ayuda en sí para la rehabilitación visual, el uso de la RV juega un papel más que importante para identificar las necesidades de estos pacientes, ya que aunque podamos cuantificar la pérdida visual mediante medidas objetivas como AV, SC o CV (entre otras), los pacientes afectados por deficiencias visuales tendrán diferente concepto de las limitaciones derivadas, de cómo afecta la pérdida visual a su día a día y por tanto, diferente autoconcepto.

Para poder llegar a ofrecer una ayuda visual específica para cada caso (dependiendo del tipo de pérdida) que proporcione al paciente autonomía, independencia y autoestima; es necesario entender cómo es su visión y cómo pueden verse dificultadas las actividades de la vida diaria (AVDs). En este sentido, Jones, PR. et al. (2020) evaluaron la capacidad de estos dispositivos para recrear con precisión estas limitaciones, concretamente de pacientes con glaucoma. En su estudio, tras valorar los resultados concluyen que *“los simuladores digitales modernos (RV y RA) son capaces de reproducir y cuantificar objetivamente algunas de las principales dificultades cotidianas asociadas a las deficiencias visuales”*.





Figura 5. Simulación de entorno RV sin y con diferentes escotomas.

*Capturas de pantalla del simulador de RV, mientras se realizaba la tarea de Búsqueda de Objetos. Arriba, sin escotomas. Abajo Izquierda escotoma superior, abajo derecha escotoma inferior. (Jones et al., 2020) Seeing other perspectives: evaluating the use of virtual and augmented reality to simulate visual impairments (OpenVisSim). NPJ Digital Medicine, 10;3:32.*

La idoneidad de estos simuladores para reproducir fielmente las dificultades cotidianas de las personas con baja visión, es debida a que los sistemas de RV tienen una gran capacidad de repetibilidad de las características ambientales. Es decir, podemos crear el entorno que queramos, variando sus atributos a elección, y usarlo tantas veces como sea necesario para realizar evaluaciones lo más similares posibles en diferentes pacientes o en diferentes momentos al mismo paciente.

En los artículos incluidos existe consenso al evidenciar que esta es la principal ventaja de los dispositivos de RV inmersiva, ofreciendo la posibilidad de recrear cualquier entorno parecido a la realidad, con condiciones fácilmente manipulables y altamente reproducibles.

Así, los estudios de Daga, FB. et al. (2017) y Sánchez-García et al. (2020) se basan en esta característica para la comparativa de resultados en pacientes con Baja Visión y Visión Normal. Kartha et al. (2023) aprovecha también esta

propiedad para evaluar el rendimiento visual en personas con valores muy bajos de AV.

No se encontró en la literatura ningún estudio sobre el uso de dispositivos de RV para el entrenamiento de AVDs en entornos controlados antes de ponerlos en práctica en la realidad. Podemos intuir que habríamos encontrado artículos relacionados con este hábito de haber seleccionado unas fechas de inclusión anteriores.

De igual modo, no existe suficiente evidencia hasta el momento del uso de RV en programas de rehabilitación visual, aunque si se han encontrado dos casos clínicos, publicados por Dialbert-Nido et al. en 2021, con resultados favorables tras entrenamiento con RV en pacientes adultos con defectos de campo por daño cerebral adquirido.

### *5.2. Uso de dispositivos de Realidad Aumentada en Baja Visión*

Tal y como se ha expuesto anteriormente, el diseño, desarrollo y estudio de dispositivos de RA enfocados a la baja visión es un tema en constante estudio en la actualidad.

Aunque actualmente en la práctica clínica también se emplean estos instrumentos para simular defectos visuales en personas con visión normal y valorar su impacto en el día a día, el mayor interés por ellos viene generado por el conocimiento de la posibilidad (o casi evidencia) de su potencial para convertirse en una gran ayuda para la rehabilitación de pacientes con baja visión.

Al ofrecer la oportunidad de procesar la imagen a tiempo real, se pueden añadir elementos virtuales como mejora del contraste, resalto de bordes y/o maximización o minimización de la imagen para conseguir recibir información de todo (o el máximo) CV. Modificaciones que, en nuestros pacientes, pueden derivar en una mejora de ciertas características y cualidades visuales como AV, SC, escaneo ocular, tareas de lectura, etc; un crecimiento de autonomía e, incluso, en un aumento de la calidad de vida y la autoestima.

Es esta propiedad y su efecto en la visión de los pacientes la que se valora en el resto de los estudios incluidos que usan simuladores RA.

El estudio creado por Coughlan, JM. et al. (2020), es el único de los seleccionados que analiza el efecto de la RA en individuos ciegos. Se ha decidido su inclusión, aun así, por ser el único estudio que evalúa un dispositivo de RA con respuesta sonora que cumplía los requisitos propuestos. CamIO (Camara Input-Output), una guía espacial 3D que graba la imagen en tiempo real y reacciona con respuesta sonora y fue probado en 4 participantes ciegos con resultados favorables en las tareas de búsqueda y acceso en laberintos. Es probable que esta guía espacial con respuesta sonora fuese una ayuda más que óptima para pacientes de baja visión (especialmente aquellos con problemas de CV periférico).

Kinatender, M. et al. (2018), Wittich, W. et al. (2018), Angelopoulos, AN. et al. (2019), Deemer, AD. et al. (2019), Gopalakrishnan, S. et al. (2020), Sayed, AM. et al. (2020) y Lorenzini, M., Wittich, W. (2021) desarrollaron estudios que, con diferente número de participantes y condiciones iniciales de éstos siguen una metodología similar. En estos estudios se evaluaron pacientes con baja visión utilizando diferentes dispositivos de RA (Hololens, eSight, Hololens + Wireframe pseudocolor, IrisVision, Samsung Gear VR+ App Reluminio, AR Dspecs y eSight, respectivamente).

Kinatender, M. et al. (2018), Ho, E. et al. (2019), y Asher, JM. Et al. (2022) combinan en sus ensayos la simulación de defectos visuales (principalmente campimétricos) en personas con visión normal y las estrategias de mejora de imagen para aminorar sus efectos. Los dispositivos evaluados en estos casos son Hololens y desconocidos.

Sólo uno de los artículos, el desarrollado por Stöhr, M. et al. (2020) presenta la evaluación del efecto de un dispositivo de RA, de nombre LEW o RILEW, en participantes con visión normal con ametropías elevadas, pero con la finalidad de trasladar los resultados a pacientes con baja visión causada por patologías de polo anterior (principalmente corneales).

Dos de los estudios de simuladores de RA incluidos, tenían objetivos diferentes a los demás: el primero, el de Jones, PR. et al. sólo pretendía valorar la capacidad del simulador para reproducir defectos visuales y sus efectos. El segundo, realizado por Ho, E. et al. (2019) tenía como objetivo determinar la

mejor resolución de imagen para prótesis visuales en pacientes con pérdida de CV central.

La finalidad del resto de los artículos incluidos es cuantificar la mejora de un dispositivo determinado de RA para diferentes condiciones visuales. Se comparan los resultados de AV, SC, medidas MNREAD, movimientos visuales, movilidad, detección y agarre, y calidad de vida (depende del estudio) sin y con la ayuda.

Existe consenso en todos los autores del efecto positivo de los dispositivos de RA para pacientes con baja visión; mejorando los resultados tanto en variables visuales como la AV, SC, escaneo y localización de objetos y movilidad, como en la valoración subjetiva por parte de los usuarios de la realización de AVDs y la calidad de vida.

## 6. CONCLUSIONES

Tras la revisión de la literatura existente en los últimos años, queda enmarcada y evidenciada la existencia e importancia del uso de las tecnologías de RV y RA en pacientes con baja visión en base a los siguientes motivos:

- Simular las condiciones visuales patológicas permitiendo recrear diferentes situaciones de la vida cotidiana.
- Crear un sistema de evaluación o entrenamiento sistemático repetible para pacientes con baja visión.
- Maximizar la visión residual mediante el tratamiento de la imagen real.

Por otra parte, los dispositivos de realidad aumentada pueden constituir una herramienta útil para rehabilitar pacientes con baja visión. Sin embargo, todavía es necesaria evidencia científica que demuestre las virtudes de la realidad virtual en este sentido.

Finalmente, el enfoque hacia la baja visión de dispositivos patentados por diferentes marcas para otros usos, creando así un diseño universal, conseguirá normalizar este tipo de ayudas y hacer que, además de muy útiles, cada vez sean más accesibles.

## 7. BIBLIOGRAFÍA

Angelopoulos AN, Ameri H, Mitra D, Humayun M. (2019). Enhanced Depth Navigation Through Augmented Reality Depth Mapping in Patients with Low Vision. *Scientific Reports*. 9(1):11230.

Asher, J.M.; Hibbard, P.B. (2022) Visual Field Loss: Integrating Overlaid Information to Increase the Effective Field of View. *Vision*, 6, 67.

Aydınođan G, Kavaklı K, Şahin A, Artal P, Ürey H. (2020). Applications of augmented reality in ophthalmology. *Biomedical Optics Express*. 21;12(1):511-538.

Cieza, A., Keel, S., McCoy, M. y Mariotti S. (2020) *Informe mundial sobre la visión [World report on vision]*. Ginebra: Organización Mundial de la Salud.

Coco, M.B., Herrera, J., Cuadrado, R., De Lázaro, J.A., (2018). *Manual De Baja Visión Y Rehabilitación Visual*. Editorial Medica Panamericana S.A.

Coughlan JM, Biggs B, Rivière MA, Shen H. (2020). An Audio-Based 3D Spatial Guidance AR System for Blind Users. *Computers Helping People with Special Needs*. 12376:475-484.

Daga FB, Macagno E, Stevenson C, et al. (2020). Wayfinding and glaucoma: a virtual reality experiment. *Investigative Ophthalmology & Visual Science*. 58:3343– 3349.

Daibert-Nido M, Pyatova Y, Cheung K, Nayomi C, Markowitz SN, Bouffet E, Reber M. (2021). Case Report: Visual Rehabilitation in Hemianopia Patients. Home-Based Visual Rehabilitation in Patients With Hemianopia Consecutive to Brain Tumor Treatment: Feasibility and Potential Effectiveness. *Frontiers in Neurology*. 21;12:680211

Deemer AD, Swenor BK, Fujiwara K, Deremeik JT, Ross NC, Natale DM, Bradley CK, Werblin FS, Massof RW. (2019). Preliminary evaluation of two digital image processing strategies for head-mounted magnification for low vision patients. *Translational Vision Science and Technology*, 8(1):23

Gopalakrishnan S, Chouhan Suwalal S, Bhaskaran G, Raman R. (2020). Use of augmented reality technology for improving visual acuity of individuals with low vision. *Indian Journal of Ophthalmology*, 68:1136-42.

Ho, E., Boffa, J., & Palanker, D. (2019). Performance of complex visual tasks using simulated prosthetic vision via augmented-reality glasses. *Journal of Vision*, 19(13):22, 1–10.

Htike HM, Margrain TH, Lai Y-K, Eslambolchilar P. (2020). Ability of head-mounted display technology to improve mobility in people with low vision: A systematic review. *Translational Vision Science and Technology* 9(10):26,

Jones PR, Somoskeöy T, Chow-Wing-Bom H, Crabb DP. (2020). Seeing other perspectives: evaluating the use of virtual and augmented reality to simulate visual

impairments (OpenVisSim). *NPJ Digital Medicine*, 10;3:32.

Kartha A, Sadeghi R, Bradley C, Tran C, Gee W, Dagnelie G. (2023). Measuring visual information gathering in individuals with ultra-low vision using virtual reality. *Scientific Reports*. 13(1):3143.

Kinateder M, Gualtieri J, Dunn MJ, Jarosz W, Yang XD, Cooper EA. (2018) Using an Augmented Reality Device as a Distance-based Vision Aid-Promise and Limitations. *Optometry and Vision Science*, 95(9):727-737

Lorenzini MC, Hämäläinen AM, Wittich W. (2019) Factors related to the use of a head-mounted display for individuals with low vision. *Disability and Rehabilitation*, 43:17, 2472-2486.

Lorenzini MC, Wittich W. (2021). Personalized Telerehabilitation for a Head-mounted Low Vision Aid: A Randomized Feasibility Study & Head-mounted Visual Assistive Technology-related Quality of Life Changes after Telerehabilitation. *Optometry and Vision Science*, 98(6):570-591.

Peli E, Vargas-Martin F, Kurukuti NM, Jung JH. (2020). Multi-periscopic prism device for field expansion. *Biomedical Optics Express*. 11(9):4872-4889.

Pur DR, Lee-Wing N, Bona MD. (2020). The use of augmented reality and virtual reality for visual field expansion and visual acuity improvement in low vision rehabilitation: a systematic review. *Graefe's Archive for Clinical and Experimental Ophthalmology*.

Sanchez-Garcia M, Martinez-Cantin R, Bermudez-Cameo J, Guerrero JJ. (2020). Influence of field of view in visual prostheses design: Analysis with a VR system. *Journal of Neural Engineering*. 17(5):056002.

Sayed AM, Shousha MA, Baharul Islam M, Eleiwa TK, Kashem R, Abdel-Mottaleb M, et al. (2020) Mobility improvement of patients with peripheral visual field losses using novel see-through digital spectacles. *PLoS ONE* 15(10): e0240509.

Scheiman, M., Scheiman, M., Whittaker, SG., (2007). *Low Vision Rehabilitation: A Practical Guide for Occupational Therapists*. Thorofare, NJ: Slack Incorporated.

Sherman, W. R., Craig, A. B. (2003). *Understanding virtual reality: Interface, application, and design*. London: Morgan Kaufmann.

Stöhr M, Dekowski D, Bechrakis N, Esser J, Eckstein A, Oeverhaus M. (2020) First Evaluation of a Retinal Imaging Laser Eyewear System Based Low Vision Aid. *Clinical Ophthalmology*. 30(14):4115-4123

Wittich W, Lorenzini MC, Markowitz SN, Tolentino M, Gartner SA, Goldstein JE, Dagnelie G. (2018). The Effect of a Head-mounted Low Vision Device on Visual Function. *Optometry and Vision Science*. 95(9):774-784.