



---

**Universidad de Valladolid**

**FACULTAD DE MEDICINA**

## **Máster en Rehabilitación Visual**

**MEMORIA TRABAJO FIN DE MÁSTER TITULADO**

**Uso de entornos virtuales en la comprensión del espacio**

**de personas con ceguera y discapacidad visual**

**Presentado por Manuel Parra Gil**

**Tutelado por: Joaquín Herrera Medina**

**En Valladolid a, 19 de Junio de 2022**

# Índice

<b>1. Resumen</b> .....	1
<b>2. Objetivos</b> .....	1
<b>3. Introducción</b> .....	2 - 4
<b>4. Metodología</b> .....	5 - 6
<b>5. Resultados y discusión</b> .....	7 - 23
5.1 Dispositivos de pantalla montada en la cabeza (HMD) .....	7 - 10
5.2 Dispositivos de Realidad Virtual (RV) .....	11 - 16
5.3 Mapas cognitivos y sustitución sensorial .....	17 - 20
5.4 Aplicaciones en smartphones y demás dispositivos .....	20 - 22
5.5 Conceptos y aplicaciones globales de los dispositivos que usan las nuevas tecnologías.....	22
<b>6. Conclusiones</b> .....	23 - 25
<b>7. Bibliografía</b> .....	26 - 30

## **1. Resumen**

Las nuevas tecnologías se pueden utilizar para mejorar la detección de obstáculos. Estos dispositivos se pueden clasificar en: realidad virtual, dispositivos de pantalla montadas en la cabeza (HMD), mapas cognitivos y aplicaciones móviles y demás dispositivos.

Todos estos dispositivos sirven para mejorar la detección de obstáculos, aunque disminuye la velocidad en la movilidad. Muchos de ellos necesitan de la compenetración de las otras herramientas para lograr su objetivo. A su vez, se necesita de un entrenamiento previo y de unas pautas que tiene que recibir del rehabilitador para un uso correcto de los mismos. Estas pautas en algunos casos requieren de más entreno por su dificultad.

## **2. Objetivos**

-Determinar un concepto que englobe los diferentes tipos de dispositivos y qué información aportan.

-Indicar las ayudas que proporcionan estos dispositivos a los pacientes para la comprensión del espacio.

-Analizar los resultados en personas con DV frente a personas con ceguera.

### 3. Introducción

En los próximos años, el número de adultos mayores con baja visión aumentará sustancialmente. Para estas personas, la información que puedan captar del entorno que lo rodea supone una ayuda bastante importante para tener una buena orientación y movilidad (Zijlstra et al., 2013).

La mayoría de referencias que se obtienen del ambiente es a través del sistema visual, por ello, las personas con discapacidad visual poseen más problemas en este aspecto y necesitan de un entrenamiento con ayudas, tanto convencionales como electrónicas, para mejorar sus capacidades (Zijlstra et al., 2013) (Shah et al., 2018)

La orientación se define como la capacidad de analizar la información recibida del entorno a través de los sentidos para determinar la posición de una persona en relación con los objetos de su alrededor, tanto en estático como para posteriormente desplazarse. La movilidad es la capacidad de desplazarse por el entorno. Una incapacitación para llevar a cabo un buen desplazamiento y orientación puede tener como consecuencia problemas como falta de independencia, aislamiento social, deterioro físico y depresión, entre otros. Aunque estos aspectos determinan la calidad de vida de las personas con baja visión, no existen medidas estandarizadas para medir dichas capacidades. Siguiendo la revisión bibliográfica realizada por Chang y su grupo de trabajo, los temas más repetidos para medir la orientación y la movilidad son la eficiencia, el tiempo, la distancia, la velocidad y el PPWS (porcentaje de velocidad de marcha preferida). Este último elemento permite que los sujetos actúen como sus propios controles, teniendo en cuenta factores no relacionados con la visión, como la edad, estado físico, etc. Aun así, la medición de la movilidad entre diferentes estudios y su comparación resulta una tarea complicada, ya que se usan diferentes tipos de espacios, itinerarios y entran en juego diferentes variables como la iluminación, densidad de obstáculos utilizados, ancho de la trayectoria, etc. (Chang et al., 2020).

Deverell et al. propuso que la medición de la orientación y la movilidad debe estar centrada en cada individuo y debe tener un carácter personal. A su vez, argumentó la clasificación en seis niveles de complejidad de estos dos aspectos: deshabitada y libre de obstáculos, deshabitada con obstáculos, con obstáculos

ocasionales y gente alrededor, multitudes de peatones, cruces de caminos controlados (donde el tráfico es controlado por semáforos, pasos de cebra y las reglas de tránsito) y cruces de carreteras no controlados (donde el tráfico no está gestionado de manera efectiva por la infraestructura o las normas viales) (Deverell et al., 2017). Aun observando esta clasificación y el intento de unificar una medición generalizada para la orientación y movilidad, estas capacidades presentan una naturaleza difícil y todavía se debe investigar más aún sobre estos conceptos. (Chang et al., 2020) (Deverell et al., 2017).

Para ello, se deben unificar internacionalmente unas prácticas y métodos de evaluación comunes que sirvan para cualquier estudio y/o entrenamiento. Para intentar conseguir llegar a ello, se llevó a cabo un estudio en Australia y Malasia, donde se crearon unas herramientas (VROOM y OMO) para evaluar la visión funcional y la orientación y movilidad funcionales en pacientes con discapacidad visual. Estos mecanismos son un prototipo para realizar la evaluación en un futuro. (Deverell et al., 2017).

Si hablamos de orientación y movilidad la herramienta más habitual para mejorar estas capacidades es el bastón blanco. Este utensilio se encuentra más estandarizado entre personas de una edad avanzada que llevan ya bastantes años con su discapacidad visual o ceguera y encuentran en el bastón blanco una ayuda indispensable para su día a día. Sin embargo, pueden existir casos de abandono de este instrumento debido a la falta de confianza derivada de las caídas, falta de seguridad, etc. Según el estudio de Kim et al., donde se analizan las principales causas de las caídas provocadas por el uso del bastón blanco y los posibles abandonos, se llegó a la conclusión de que ni la edad ni la técnica utilizada para la movilidad con esta herramienta fueron determinantes para justificarlo. Aun así, analizando más profundamente las características de las caídas en pacientes de edad avanzada, se puede determinar que la técnica de contacto constante con el bastón sirve para obtener más información de desniveles u otras depresiones existentes en el entorno y que suponen un riesgo para este tipo de pacientes (Kim et al., 2010)



**Figura 1:** Participante realizando el estudio para analizar las causas de las caídas con el bastón blanco (Kim et al., 2010).

Debido a las limitaciones que puede tener el uso exclusivo de esta herramienta, existen otros instrumentos que pueden mejorar la orientación, detección de obstáculos y/o movilidad del paciente con discapacidad visual por sí solos o compenetrándose con el uso del bastón. Entre una de ellas se encuentra el scooter. Este vehículo sirve, indudablemente, para mejorar la movilidad de las personas que lo usan, ya que aumenta la velocidad de desplazamiento y el tiempo para conseguir llegar al lugar deseado. Sin embargo, con respecto al tema de detección de obstáculos, aparecen limitaciones que dificultan la seguridad de los pacientes. Otra de las limitaciones existentes es su accesibilidad, ya que su precio suele ser elevado, y su uso en entornos más reducidos. Este último aspecto se relaciona con su uso en el hogar, ya que no es recomendable al haber mayor número de obstáculos (sillas, mesas, etc.) y al ser un ambiente de menor extensión (McMullan y Butler, 2019).

Una vez observados las posibles herramientas que se pueden utilizar para mejorar la orientación, movilidad y detección de obstáculos, el uso de las nuevas tecnologías aplicadas a estos conceptos supone una ayuda, sobre todo en la exploración de obstáculos, que mejora la calidad de vida de los pacientes con baja visión o ceguera.

## 4. Metodología

### Diseño

Para la inclusión de los artículos para este trabajo se ha hecho una revisión bibliográfica en la base de datos Pubmed (<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/>) y Scopus (<https://www.scopus.com>). Para citarlos se utilizó la metodología APA. Las imágenes incluidas son de los propios artículos que se incorporaron dentro del trabajo.

### Estrategia de búsqueda y resultados obtenidos

La búsqueda de información se llevó a cabo en inglés, ya que prácticamente todos los artículos a analizar se encontraban en este idioma. Las palabras clave fueron low vision, rehabilitation, visual impaired, mobility, orientation, technology, blindness, device. Los buscadores utilizados fueron Scopus y Pubmed, siendo este último donde se encontraron prácticamente todos los artículos de esta revisión bibliográfica. En una primera lectura se revisaron los resúmenes y conclusiones de los artículos para un posterior análisis más exhaustivo y crítico.

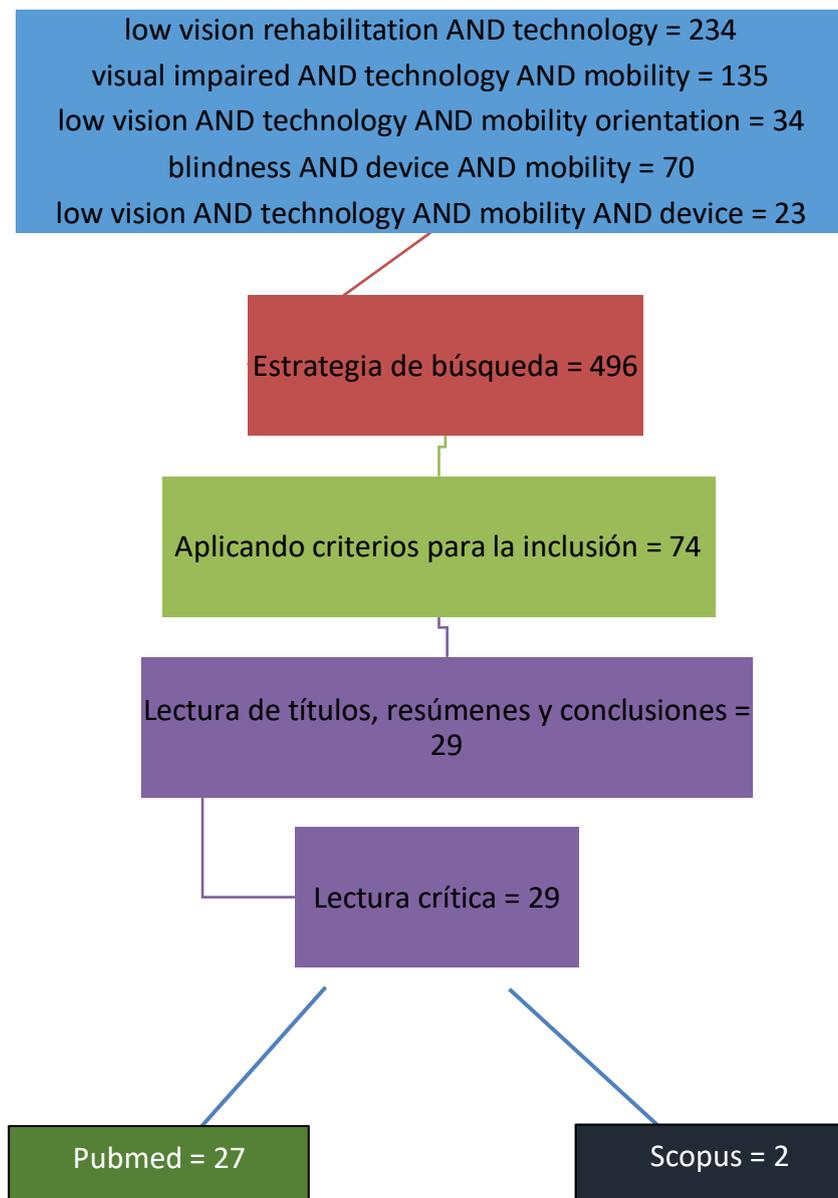
Para incorporar los artículos científicos a esta revisión se han seguido unos criterios en los que se incluye información sobre la mejora de la movilidad en personas con Baja Visión y ceguera a través de la detección de obstáculos y el aumento de su velocidad y seguridad en el desplazamiento.

Se excluyeron artículos que hacían referencia a otras actividades que no tenían que ver con la movilidad y detección de obstáculos (lectura, cocinar, etc.) e investigaciones en las que han participado sujetos con una Agudeza Visual (AV) mayor que un paciente con Baja Visión.

Se inició con el uso del operador booleano “OR” y posteriormente se pasó a utilizar “AND”, ya que con este último se encontraron más artículos relacionados con los criterios de búsqueda. A su vez, se realizó un cribado en el que se seleccionaron artículos de los últimos 10 años, aunque la gran mayoría de los mismos datan sobre los últimos 5, ya que los más recientes son los que aportan más información sobre el tema a tratar.

## Selección de artículos

Se encontraron 496 artículos al inicio de la búsqueda usando todas las combinaciones de palabras claves. Posteriormente, con los criterios de selección, la lectura de títulos, resúmenes y conclusiones junto con una lectura más crítica, se obtuvieron un total de 29 artículos. Estos últimos fueron incluidos en el trabajo. Este proceso queda detallado en el siguiente esquema:



## 5. Resultados y discusión

Para la detección de obstáculos y la movilidad, además del bastón blanco, existen numerosos dispositivos que incluyen la tecnología más actual para proporcionar una ayuda a la hora del desplazamiento tanto en entornos conocidos del hogar como en exteriores. Gracias a la revisión bibliográfica realizada, estos dispositivos se dividen en cuatro herramientas principales:

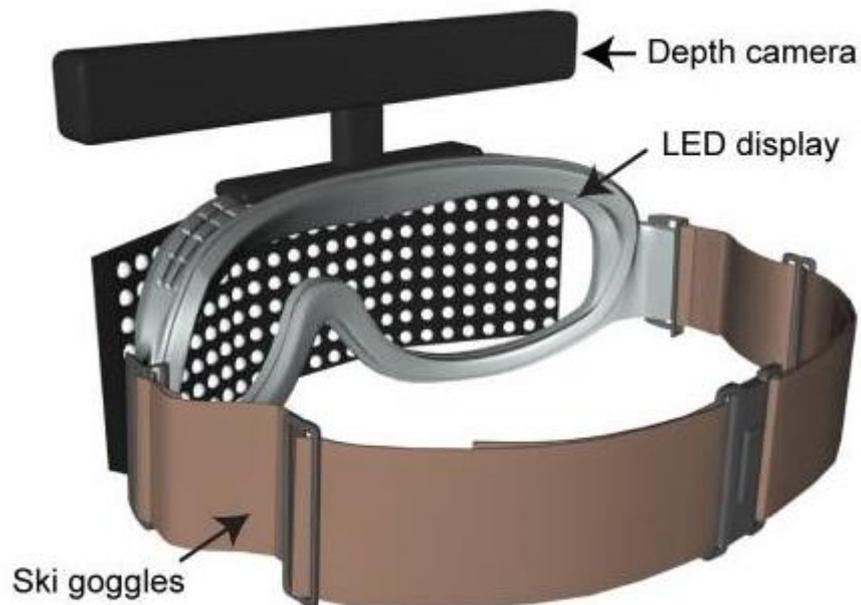
### 5.1 Dispositivos de pantallas montadas en la cabeza (HMD)

#### Características

Los dispositivos de pantallas montadas en la cabeza (head-mounted displays) generalmente se componen de una pantalla situada en la cabeza con una cámara de profundidad y un software que detecta la situación en la que se encuentran los objetos. Dichas cámaras de profundidad pueden proporcionar una imagen a través de puntos infrarrojos. Estos puntos se proyectan en estancias cercanas y forman un mapa bidimensional que tiene en cuenta el desplazamiento entre dichos puntos. De esta forma, el paciente puede localizar en su entorno más cercano los objetos que son susceptibles de chocar con ellos (Figura 1) (Hicks et al., 2013).

Estos instrumentos también pueden disponer de elementos con una tecnología más avanzada para captar la profundidad y las imágenes de los objetos, como es un telescopio bióptico virtual de parámetros ajustables dispuesto en una pantalla montada en la cabeza. Este instrumento tiene un amplio campo, denominado “burbuja” y se puede ampliar la imagen. En este caso, para procesar dicha imagen se necesita un smartphone integrado en una HMD similar a unas gafas de realidad virtual (Samsung Gear VR). Gracias a este dispositivo, el paciente puede aumentar el tamaño de la imagen y de la burbuja a través de un controlador de mano por bluetooth (Deemer et al., 2019).

A su vez, también se puede disponer directamente de unas gafas de realidad virtual en las que se les integra un teléfono móvil inteligente junto con un dispositivo de control remoto inalámbrico (Sightplus) (Crossland et al., 2019).



**Figura 2:** Elementos que generalmente componen el dispositivo de la pantalla montada en la cabeza. Está formada por una pantalla LED, unas gafas con una cámara de profundidad (en este caso infrarroja) y una cinta para que se adapte bien a la cabeza (Hicks et al., 2013).



**Figura 3:** Imagen burbuja conseguida a través del telescopio bióptico virtual. Esta imagen la controla el paciente. En la imagen de la izquierda se puede observar donde se puede localizar una imagen burbuja. La imagen de la derecha muestra el resultado final conseguido por el paciente (Deemer et al., 2019).

## Aplicaciones

En general, estos dispositivos de HMD se utilizan para entrenar en entornos conocidos, como el hogar o un camino que se realiza habitualmente en la calle, o para mejorar la detección de obstáculos en entornos desconocidos y así mejorar la calidad de vida del paciente.

En un estudio realizado por Hicks et al. utilizaron un dispositivo de HMD como el descrito en la Figura 1, en el que se colocó una pantalla LED junto con una película semitransparente para difundir los puntos de luz individuales. En el puente de las gafas se situó una cámara infrarroja de profundidad y esta cámara junto con la pantalla LED se conectaron a un ordenador portátil, depositado en una mochila, que codifica la información con un software y crea un mapa de profundidad, que se traslada a la pantalla de nuevo.

Se realizaron carreras de obstáculos en las que pacientes con discapacidad visual, que poseían Retinosis Pigmentaria (RP) y Degeneración Macular Asociada a la Edad (DMAE), y con ceguera pudieron llevarlas a cabo, aun no teniendo una visión residual útil. Los pacientes con RP presentaron más dificultades debido a la limitación de su campo visual periférico. Los que poseían DMAE tuvieron más facilidades, aunque su campo visión central estuviera más limitado por los escotomas centrales. Además, en un tiempo relativamente corto pudieron reconocer sillas, paredes y sus extremidades, entre otros elementos que se encontraban a una distancia cercana (Hicks et al., 2013).

Otras patologías que también comprometen el campo visual, como es el caso del glaucoma, pueden limitar la detección de obstáculos. Con un dispositivo de pantalla montada en la cabeza (en este caso OpenVisim) se puede evaluar los movimientos de cabeza y de ojos que realizan las personas cuando se encuentran desplazándose en su entorno. A su vez, acciones como subir escaleras pueden crear situaciones de estrés para los pacientes, ya que su capacidad visual se encuentra bastante limitada para realizar dicha tarea. Gracias a este dispositivo también se puede controlar estas situaciones para que el paciente se encuentre más calmado y afronte mejor dichas actividades (Jones et al., 2020).

Con la revisión bibliográfica realizada por Htike y su grupo de trabajo se observó que los dispositivos montados en la cabeza no mejoraban la eficacia en la

movilidad. Sin embargo, se mejoraron algunas capacidades visuales, como el campo visual periférico, gracias al uso de la técnica de minificación. Con esta herramienta, los pacientes podían reducir la imagen para que el campo visual periférico se concentrara en la parte central. En pacientes con RP les sirvió de gran ayuda, ya que por su patología el campo visual periférico se muestra más limitado. Otra técnica utilizada en diversos estudios fue la simplificación. Gracias a ello, se eliminan de la escena elementos que ayudan a provocar un desorden visual y que no aportan una información relevante a la hora de la detección de obstáculos, aunque influya negativamente en la movilidad del paciente. Por lo tanto, dichos dispositivos son eficaces para la detección de obstáculos, pero reducen la velocidad de movilidad (Htike et al., 2020).

Los dispositivos HMD también pueden servir para analizar el comportamiento de la mirada de las personas con baja visión durante la navegación. Dichas personas utilizan sus propias herramientas para orientarse a la hora de desplazarse. Según Freedman et al., los sujetos con baja visión incluidos en su estudio pasaron más tiempo mirando al límite entre el suelo y la pared. Esta señal es de alto contraste y puede suponer una fuente de información sobre las dimensiones de la estancia y sobre la posición que ocupa la persona que se encuentra en ella. En este estudio, como se ha demostrado en los expuestos anteriormente, se mejora la detección de obstáculos. En este caso, incluso en el reconocimiento de letras colocadas en una carrera de obstáculos (Freedman et al., 2019).

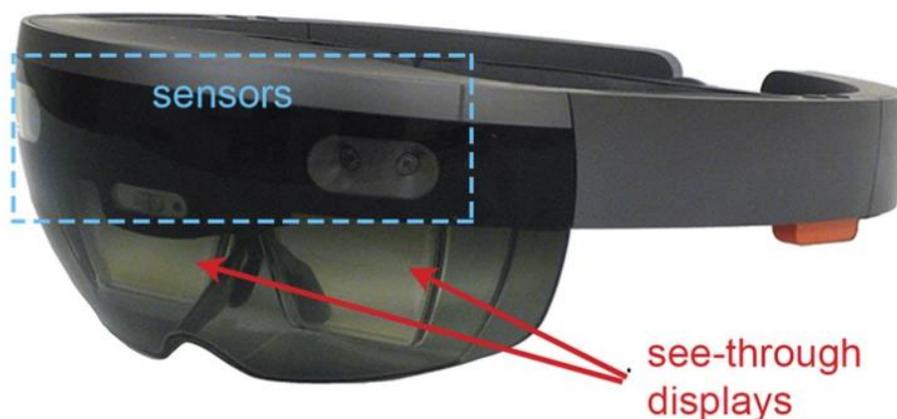
Otras aplicaciones relevantes de los HMD son el beneficio que pueden producir en la lectura (velocidad, rendimiento, comprensión, etc.) y en la información visual. Este es el caso de eSight Eyewear, un dispositivo de pantalla montada en la cabeza que utiliza la realidad virtual para entrenar las capacidades visuales citadas anteriormente (Wittich et al., 2018).

## 5.2 Realidad Virtual (VR)

En entornos virtuales, las personas con baja visión poseen las capacidades visuales más reducidas que las personas que no tienen discapacidad visual alguna. Esto se traduce en una mayor dificultad para realizar actividades de la vida diaria. Clasificando a los pacientes de baja visión en personas con limitación del campo visual central y periférico, estos últimos presentan menor rendimiento en la realización de actividades (lectura, movilidad, búsqueda visual, etc.). Con estos datos se puede planificar una rehabilitación donde se priorice el rendimiento visual y la mejora de las actividades de la vida diaria (Gopalakrishnan et al., 2020).

### Características

Los dispositivos de gafas de realidad virtual empleados para el desplazamiento de los pacientes con discapacidad visual se componen principalmente de las propias gafas de realidad aumentada, que poseen sensores y un software que alerta al paciente de la presencia de un obstáculo. Esta alerta suele ser por medio de una vibración (Kinateder et al., 2018).

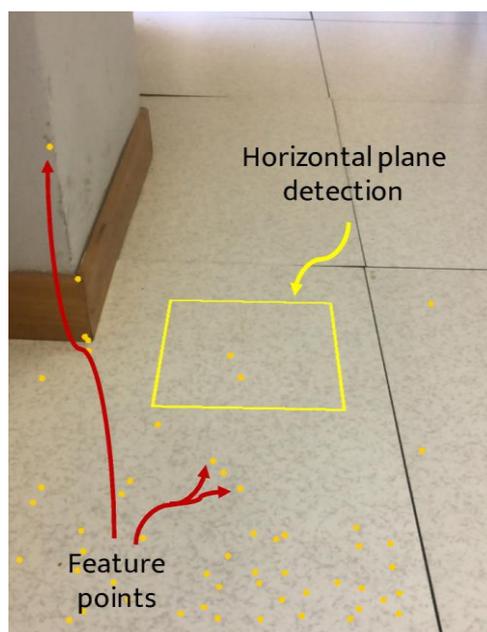


**Figura 4:** Gafas de realidad virtual HoloLens que posee sensores (azul) pantallas transparentes (flechas rojas), un ordenador a bordo y una cinta que se ajusta a la cabeza (Kinateder et al., 2018).

## Aplicaciones

Los dispositivos de gafas de realidad virtual se utilizan en personas con baja visión para entrenar el desplazamiento y movilidad y evitar la colisión con obstáculos. Este aspecto se consigue gracias a la creación de entornos virtuales donde el paciente debe seguir un recorrido específico evitando obstáculos (Angelopoulos et al., 2019)

El sistema ARIANNA+ utiliza tecnologías basadas en radiofrecuencia, sensores y en la visión (cámaras). Este dispositivo se usó en entornos virtuales para entrenar la movilidad y la detección de obstáculos para evitar el choque con ellos. Como inicio se busca el plano horizontal a través del método hitTest, por el cual también se detectan los puntos característicos del propio plano. Posteriormente se representan los demás elementos y todo ello se concentra en un mapa 3D. De esta forma, ARIANNA+ ayuda a la navegación por entornos predefinidos y al reconocimiento de monumentos sin necesidad de soporte físico, solo con el dispositivo y un smartphone (Valvo et al., 2021).



**Figura 5:** Detección del plano horizontal y de los puntos característicos gracias a hitTest (Valvo et al., 2021).

Otra forma de delimitar la situación en la que se encuentran los posibles obstáculos es a través de la superposición de contraste de colores. El dispositivo de realidad aumentada Hololens está compuesto por dos pantallas transparentes y un conjunto de sensores (cuatro cámaras de seguimiento, un sensor de profundidad basado en infrarrojos y una unidad de medición inercial para el seguimiento de la posición y orientación del paciente). Este instrumento crea un mapa de color (cálidos y fríos) que tiene en cuenta la distancia de los objetos al usuario para mejorar su detección. Se realizaron dos experimentos, uno con participantes con baja visión real y el posterior con personas con una Agudeza Visual (AV) limitada artificialmente. En ambos ensayos, la velocidad en la movilidad de los pacientes estuvo comprometida, ya que se tenían que detener para observar los objetos que se encontraban por el camino. Sin embargo, pudieron reconocerlos gracias a la saturación de los colores que les proporcionaba el dispositivo (Kinaterder et al., 2018).

Como aspecto positivo, el nivel de confianza visual aumentó considerablemente en todos los participantes, lo que les proporcionó un aumento de autoestima a la hora de afrontar el desplazamiento por la estancia en la que se encontraban los objetos. Todo ello derivará en un estado de mayor fiabilidad para realizar actividades de la vida cotidiana, no solo el desplazamiento por su entorno, sino también la identificación de objetos para realizar tareas habituales, como cocinar, limpiar, etc.

Como limitaciones, se encuentran la poca fiabilidad que presenta el dispositivo para captar objetos en movimiento y sus texturas. También se debería seguir la línea de investigación incluyendo un mayor número de participantes con una baja visión real, ya que solamente se incorporaron 4 pacientes (frente a los 48 participantes con baja visión simulada) (Kinaterder et al., 2018).

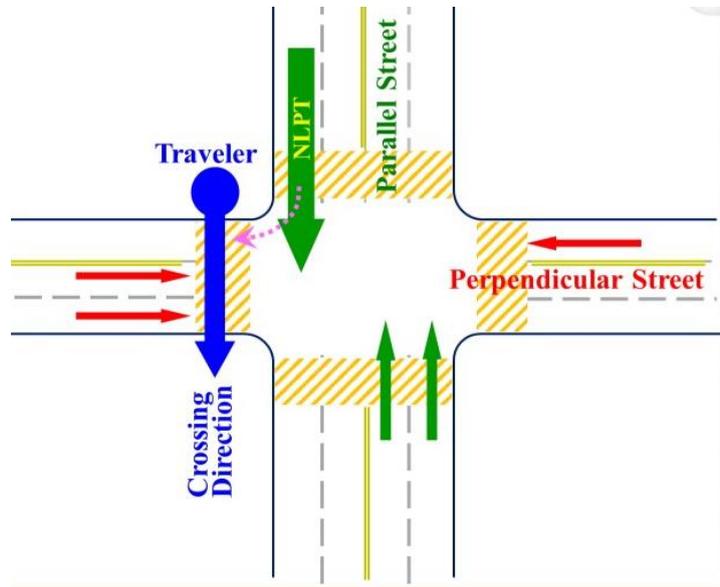


**Figura 6:** En la imagen A se muestran los objetos vistos de una forma real. En la imagen B se observa el mapa de color creado por Hololens (colores fríos para objetos lejanos y cálidos para los cercanos). En la Imagen C se representan las diferentes superposiciones de colores que pueden adoptar los objetos observados, a criterio del participante (Kinaterder et al., 2018).

No todos los dispositivos que representan las imágenes de los obstáculos mediante la saturación de colores mejoran la identificación de los mismos. Como es el caso de Bristol Mobility Aid (BMA), que reduce la velocidad en la movilidad de personas con baja visión (sobre todo pacientes con RP) y aumenta el número de errores en la evitación de obstáculos (Jones y Troscianko, 2006).

La realidad virtual puede mejorar la seguridad de los pacientes. En el estudio de Bowman y Liu se creó un simulador de realidad virtual que consistía en un ordenador que establece diversos escenarios donde se sitúan intersecciones de calles reales con sus correspondientes medios de transporte y peatones, tres proyectores, tres pantallas y un sistema de sonido envolvente. Para la realización de la tarea los profesionales proporcionaron pautas y habilidades para mejorar la orientación y movilidad, como el aumento de tráfico paralelo en el carril cercano (NPLTS en sus siglas en inglés). La cercanía de los coches hace que sea más sencillo

y cómodo para el paciente el visualizar los automóviles y percibir el sonido que emiten. A su vez, dichos pacientes deben de tener en cuenta la dirección perpendicular y paralela a su posición, la ubicación de los automóviles que circulan y los diferentes sonidos que realizan cuando están estáticos o se encuentran en marcha.



**Figura 7:** Ejemplo de diseño de una intersección de calles transversales. El círculo azul hace referencia al paciente. La flecha azul representa la dirección hacia la que va a cruzar y las flechas delgadas roja y verde son el tráfico paralelo (verde) y perpendicular (rojo) que está circulando. La flecha gruesa verde (NLPTS) hace referencia al tráfico paralelo del carril cercano. Por último, las líneas diagonales amarillas muestran los diferentes pasos de cebra (Bowman y Liu, 2017).



**Figura 8:** Representación de la intersección de unas calles virtuales vistas desde la posición del paciente (Bowman y Liu, 2017).

Con entrenamiento en estas calles virtuales se consiguió que los participantes mejoraran su orientación y movilidad y aumentaran su seguridad para enfrentarse a estas situaciones en la vida real. Además, esta herramienta supone un método totalmente controlado y que no supone ningún tipo de riesgo para los pacientes. Este aspecto, junto con los buenos resultados obtenidos del entrenamiento, fueron los que más satisfacción proporcionaron a los participantes con baja visión.

Como limitaciones se encuentran el relativo número bajo de participantes (19), la simulación de los sonidos que se encontraría el paciente en un entorno real, ya que estos sonidos no incluyeron al completo todos los que se podrían percibir, y la luz ambiental para hacer el ejercicio (se apagó la luz de la sala a la hora de llevar a cabo el ejercicio) (Bowman y Liu, 2017).

En términos generales, algunos de los dispositivos que incluyen la realidad virtual para tratar la detección de obstáculos y la movilidad se encuentran disponibles comercialmente. La gran mayoría de estudios no se prueban en condiciones reales, por lo que su confiabilidad y adaptabilidad se reducen en los pacientes. Aun así, los estudios sobre estos dispositivos resultan alentadores y tienen resultados positivos en la consecución del objetivo de identificar y evitar la colisión con los obstáculos (Patel y Parmar, 2022).

### 5.3 Mapas cognitivos y sustitución sensorial

#### Características y aplicaciones

Para personas con ceguera se crean mapas cognitivos de calles reales que ayudan a la movilidad de personas con ceguera a través de diferentes métodos: descripción verbal, mapa audio-táctil y mapa de sustitución auditiva.

Para el uso del mapa audio táctil el paciente recibe estímulos del entorno a través del tacto activo. De forma simultánea, recibe señales auditivas que le proporcionan información del mapa cognitivo creado. En el estudio de Papadopoulos et al. se compararon este mapa descrito junto con la descripción verbal. Para el mapa audio-táctil se utilizó un dispositivo táctil IVEO (ViewPlus) Touchpad junto con tres mapas táctiles. Los mapas cognitivos estaban formados por un conjunto de calles donde se encontraban diversos puntos de interés, que los participantes debían reconocer. Estos puntos de interés se presentaban mediante estímulos auditivos, hápticos y olfativos.

	<u>Descripción verbal</u>		<u>Mapa audio-táctil</u>	
	Significar	Dakota del Sur	Significar	Dakota del Sur
Encontrado	3.15	0.99	4.85	1.35
errores	3.05	1.19	1.20	1.51
Encontrado auditivo	0.80	0.52	1.50	0,61
háptico encontrado	0.85	0,67	1.55	0,69
Encontrado olfativo	1.50	0.51	1.80	0.41
Fuera del área	0.35	0.49	0.35	0.81

**Tabla 1:** Tabla que muestra la media y la desviación estándar de los puntos de interés encontrados utilizando la descripción verbal y el mapa audio-táctil (Papadopoulos et al., 2017).

Como se puede observar en dicha tabla, los participantes que utilizaron el mapa audio-táctil identificaron más puntos de interés que los que usaron la descripción verbal. Más concretamente, ninguno de los pacientes encontró los seis

puntos de interés presentados y solo dos de ellos encontraron cinco. Sin embargo, ocho personas de las que usaron el mapa audio-táctil encontraron ocho puntos y seis de las restantes hallaron cinco. Este hecho demuestra la importancia de este tipo de mapas frente a la descripción verbal. Suponen una ayuda bastante aceptable para mejorar la orientación y movilidad en una ubicación real. Aunque los resultados son alentadores, se debe seguir investigando en mapas cognitivos de mayor extensión para comprobar si el éxito de estas ayudas audio-táctiles permanecen (Papadopoulos et al., 2017).

En otro estudio se compararon estos dos mismos mapas cognitivos descritos junto con un mapa audio háptico legible con un sistema háptico de retroalimentación de fuerza (Phantom Omni). Tanto con el mapa audio-táctil como con el mapa audio-háptico se obtuvieron unos resultados favorables en la detección de puntos de interés dentro de un entorno virtual que representa a un espacio de la realidad. Sin embargo, de nuevo el mapa de descripción verbal no llega a los objetivos esperados, por lo que se debería investigar aún más sobre ellos en un futuro para equiparar los resultados con los otros mapas (Papadopoulos et al., 2016).

Como sistema que analiza tanto la sustitución sensorial auditiva y háptica se encuentra el sistema VES, una red de sensores inalámbricos configurables que permite entrenar la navegación y movilidad en entornos virtuales para personas ciegas y con discapacidad visual. Con este dispositivo se consiguieron buenos resultados en dos pruebas diferentes. En una de ellas el participante tenía que tocar tres columnas evitando obstáculos y en la posterior, el usuario debía conseguir salir de una habitación. La primera prueba es la que proporcionó resultados más satisfactorios. Sin embargo, es un prototipo que se encuentra aún en desarrollo (Real y Araujo, 2021).

El audio, además de combinarse con un sistema táctil o aparecer como descripción verbal, también puede presentarse como un audio espacial mediante los métodos de ecolocalización simulada y modulación de volumen de zumbido dependiente de la distancia.

La ecolocalización es el proceso de usar reflejos de sonido para inferir las propiedades espaciales del entorno. Se utilizarán ecolocalizadores humanos para muestrear el

entorno, como un chasquido de la boca. Posteriormente, se usa las propiedades de los reflejos del sonido (volumen, retardo, propiedades espectrales y componentes estéreo) para interactuar con todas las estructuras del entorno. Por el contrario, la modulación de volumen de zumbido dependiente de la distancia consiste en transformar las características de los obstáculos y las paredes en sonido. A cada objeto se le determina un zumbido de una frecuencia diferente y el volumen viene dado según la distancia a la que se encuentra del participante (volumen más alto a una distancia más corta).

Se realizó un estudio incluyendo estos dos métodos de audio descritos. Se incluyeron 18 participantes a los que se les tapa los ojos para realizar una prueba de navegación y detección de obstáculos en un entorno virtual. Los resultados de tiempo de finalización de la tarea, velocidad y cantidad de colisiones se analizaron y compararon con los resultados en los participantes sin venda en los ojos. Cuando llevaban la venda puesta, el tiempo de realización de la tarea fue mayor que los que no la tuvieron, aunque ese tiempo disminuyó con la realización de más intentos. Se comprobó a su vez que la modulación del sonido supone un método más rápido para llevar a cabo la tarea de la navegación que la ecolocalización, aunque esta última proporcione más detalles del entorno. Con respecto a las colisiones con los obstáculos, también se redujeron en las personas que usaron la venda y la velocidad aumentó conforme se llevaban a cabo más intentos (Massiceti et al., 2018).

Para finalizar el tema de sustitución visual por auditiva, cabe destacar el uso de este aspecto en un smartphone. En un estudio de Neugebauer et al., se creó un algoritmo de sustitución visual a auditiva integrado en una aplicación de un teléfono móvil basado en la realidad aumentada. Dicho algoritmo traduce la información de distancia al objeto, la posición horizontal y vertical, el tono y volumen de los estímulos auditivos y el sentido propioceptivo del movimiento de la cabeza, y que el dispositivo se coloca encima de la cabeza.

Los participantes del estudio, que tenían ceguera o discapacidad visual, navegaron por diferentes carreras complejas de obstáculos. En dichas pruebas fueron ayudados de un bastón blanco y las superaron de una forma satisfactoria, tanto en evitar la colisión con los objetos como en la identificación de ellos. Debido a ello, existe la obligación de confirmar en estudios posteriores la hipótesis de que gracias a este algoritmo las personas con ceguera y/o discapacidad visual mejoran sus capacidades

en la navegación y detección de obstáculos. Este tema se puede ver bastante reforzado con la inclusión de participantes con ceguera que no estén familiarizados con el bastón blanco (Neugebauer et al., 2020).

## 5.4 Aplicaciones en smartphones y demás dispositivos

### Características y aplicaciones

La mejora en la accesibilidad de los dispositivos para progresar en la navegación y la detección de obstáculos hace que se desarrollen aplicaciones en teléfonos móviles inteligentes y en otros instrumentos.

Con respecto a recibir ayuda e información acerca del recorrido y el destino donde la persona con discapacidad visual se va a desplazar, existen dispositivos, como el creado por Sánchez y Torre, que lo logran. Gracias a este instrumento y a la ubicación controlada por GPS, el usuario puede buscar a través de los destinos que les lee el sintetizador TTS y escuchar información sobre la distancia y la dirección requeridas para llegar a su destino. Una limitación clara de este dispositivo es la falta de ayuda en la detección de obstáculos y a la hora de cruzar calles.

Siguiendo con este aspecto y en relación al uso del transporte público, se ha desarrollado una aplicación, llamada RAMPE, que proporciona información acerca de las paradas de autobús y del entorno en las que se encuentran.

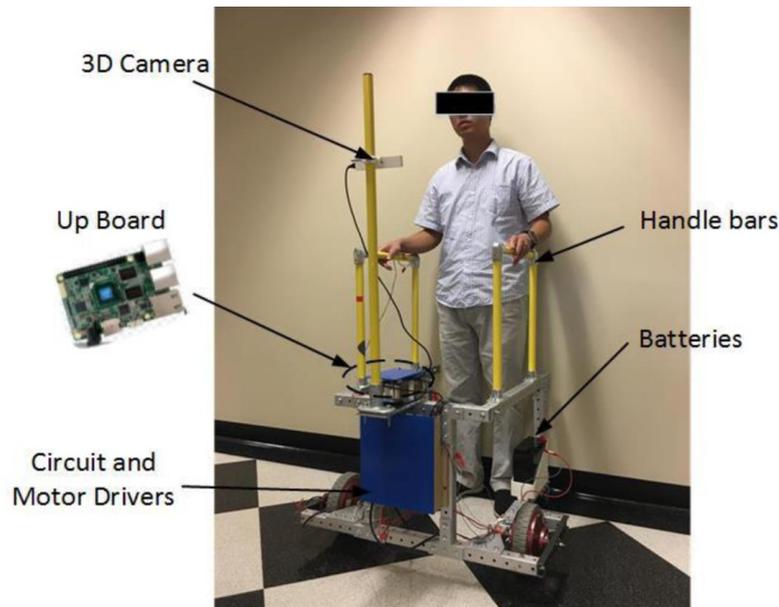
Para la ayuda a la movilidad en un entorno conocido interior se puede utilizar un sistema de señalización digital a través de letreros codificados. Estas etiquetas constan de códigos de barras con un número hexadecimal de 16 bits. Gracias a un lector de tarjetas especial compuesto de una cámara y un lector infrarrojo entre otros elementos, es posible obtener la información que proporcionan los letreros codificados. Aunque la tarea de lectura de tarjetas resultó satisfactoria para los usuarios con ceguera y baja visión, la movilidad y la detección de obstáculos se mostró limitada. Además, otras limitaciones es que este sistema solo sirve para espacios interiores y conocidos y compromete la autosuficiencia del paciente (Legge et al., 2013).

En relación a la detección de obstáculos, a parte de los dispositivos ya comentados con anterioridad, existen instrumentos o aplicaciones que mejoran este aspecto.

A través de las etiquetas RFID (identificaciones por radiofrecuencia), que se pueden encontrar en el medio que nos rodea, los pacientes pueden detectar obstáculos y obtener información sobre el entorno. El sistema se compone de un lector para este tipo de etiquetas integrado en el bastón blanco, una cámara estéreo colocada a la altura del pecho, un ordenador portátil en una mochila, un auricular y un pequeño mando para navegar por el menú. Este dispositivo aún es un prototipo y deberá investigarse más sobre él para mejorar sus resultados (Hakobyan et al., 2013).

Entre numerosos dispositivos, cabe destacar también el prototipo en desarrollo creado por Zhang et al. Este mecanismo consiste en un sensor anclado debajo y en la parte delantera del zapato del usuario que detecta la reflectancia del suelo y los obstáculos. Estos sensores van unidos a un sistema de retroalimentación colocado en el brazo del paciente que proporciona una vibración cuando se detecta un obstáculo.

Para terminar con este apartado resulta de especial relevancia la inclusión de un robot guiado por visión artificial en 3D desarrollado por Shen et al. Este dispositivo es un robot móvil de tipo caminante capaz de, sin mantener contacto físico con el paciente, conocer la orientación del usuario, rastrear su movimiento, mantenerlo en una posición correcta y poder asistirle si fuera necesario. Su rendimiento se demostró, aunque es necesario mejorar su accesibilidad y entrenar con más número de participantes (Shen et al., 2020).



**Figura 9:** Robot guiado por visión artificial en 3D para la asistencia de personas con discapacidad visual (Shen et al., 2020).

Como queda reflejado, los dispositivos o aplicaciones incluidas en la mejora de la navegación y detección de obstáculos son prototipos con buenos resultados, aunque se debe investigar todavía más sobre ellos (Hakobyan et al., 2013).

### **5.5 Conceptos y aplicaciones globales de los dispositivos que usan las nuevas tecnologías.**

En general, los dispositivos que utilizan la tecnología reciente para la detección de obstáculos utilizan la realidad virtual para conseguir sus objetivos. Otro aspecto común es la inclusión de sensores que detectan los elementos que pueden suponer un estorbo en la movilidad del paciente con discapacidad visual. La información que captan estos sensores es traducida posteriormente a una señal, normalmente una vibración, para que el usuario la reciba y la interprete correctamente.

En relación con las aplicaciones, todos los dispositivos no mejoran la movilidad para priorizar la detección de obstáculos, siendo los que utilizan la realidad virtual los que obtienen unos resultados más fiables para sus pacientes con baja visión.

En relación a los pacientes con ceguera, las herramientas que utilizan la sustitución audio-táctil para traducir la información del entorno son los dispositivos que provocan una mayor mejoría en la detección de obstáculos.

Todos ellos necesitan de un entrenamiento previo y de unas pautas que tiene que recibir del rehabilitador para un uso correcto del mismo. Estas pautas en algunos casos requieren de más entreno por su dificultad.

## 6. Conclusiones

Existen numerosos dispositivos que integran las nuevas tecnologías para mejorar la detección de obstáculos. Todas las herramientas disponibles se pueden englobar en cuatro grupos diferenciados (aunque muchos de ellos necesitan del uso de otros dispositivos): realidad virtual, dispositivos de pantallas montadas en la cabeza, mapas cognitivos y aplicaciones móviles y demás dispositivos.

-Realidad Virtual: Los instrumentos que utilizan la realidad virtual se caracterizan generalmente por poseer unas gafas de realidad virtual, un dispositivo móvil, unos sensores que detectan los elementos del entorno y un software para traducir la información recogida por los sensores para que sea captada por el usuario.

-Dispositivos de pantalla montada en la cabeza (HMD): utilizan también la realidad virtual, cámaras de profundidad, un software por el cual se interpreta la información recogida generalmente mediante vibraciones y una cinta para que la herramienta se encuentre sujeta.

-Mapas cognitivos: Es necesario el uso de la realidad aumentada para crear entornos virtuales y probar así los efectos positivos que pueden llegar a tener dichos dispositivos. Estos mapas emplean la tecnología audio táctil, audio-háptica y descripción verbal. Se crean mapas cognitivos que traducen la información del entorno virtual en señales auditivas y táctiles mediante las cuales la persona con discapacidad visual es capaz de detectar los obstáculos.

Los demás dispositivos que se pueden utilizar para lograr mejorar la orientación en la exploración de obstáculos son bastantes numerosos. Muchos de ellos deben complementarse con el uso de otras herramientas, como el bastón blanco o teléfonos

inteligentes. Estos instrumentos van desde aplicaciones móviles, sensores en el zapato que detectan obstáculos, etiquetas RFID, etc.

### **Aplicaciones en la vida diaria**

Con respecto a las aplicaciones en la vida diaria de la persona con ceguera o con baja visión, todos los dispositivos mejoran sustancialmente la detección de obstáculos, aunque empeoran la velocidad en la movilidad del paciente. Para pacientes con ceguera se ha demostrado que los mapas cognitivos (concretamente los que usan tecnología audio-táctil) son los instrumentos con los que más resultados positivos se obtienen.

Para personas con baja visión, tanto los dispositivos de gafas de realidad virtual y las pantallas montadas en la cabeza son los que resultan más útiles en la exploración de obstáculos. Algunos de ellos se han experimentado con personas sin discapacidad visual a los que se les ha empeorado la visión de forma artificial. Para proyectos futuros, se debería mejorar este aspecto en el sentido de incluir a más pacientes con una discapacidad visual natural. Como se ha expuesto con anterioridad, la gran mayoría de los instrumentos que se describen entorpecen la movilidad de los usuarios que los utilizan. Para líneas futuras se debería mejorar este aspecto creando softwares más intuitivos y realizando más entrenos. El uso de calles virtuales para entrenar la orientación debe extrapolarse a entornos de la vida real porque, aunque son situaciones que se asemejan bastante a la realidad, en los ambientes donde se desplazan pacientes con discapacidad visual o ceguera pueden aparecer situaciones nuevas y problemáticas que no se pueden entrenar en dichas calles.

Para los dispositivos de pantallas montadas en la cabeza y de realidad virtual se debe mejorar el tiempo que tarda la herramienta en traducir la información sobre los obstáculos para que sea captada por el usuario. Al mejorar este punto de vista se aumentará la velocidad de desplazamiento y, por lo tanto, la movilidad.

En relación a los demás dispositivos que mejoran la detección de obstáculos (apps móviles, etiquetas RFID, etc.), se necesita más investigación sobre su desarrollo, progreso en la consecución de este objetivo y accesibilidad a los pacientes. Además, hace falta más entrenamiento por parte de los usuarios para así mejorar también la velocidad de desplazamiento.

## **Limitaciones y propuestas de futuro**

Para mejorar estos inconvenientes que se presentan sería de gran utilidad combinar las nuevas tecnologías con herramientas más convencionales como el bastón blanco. Son elementos que combinan bastante bien para lograr mejorar la movilidad y la orientación de los pacientes, ya que con los dispositivos que utilizan las nuevas tecnologías para mejorar la detección de obstáculos se logra tener una visión más global del entorno que rodea al usuario y con el bastón blanco se logra solucionar la problemática con la movilidad. Gracias a este bastón se puede encontrar de una forma más rápida cualquier elemento que entorpezca el desplazamiento.

Otro aspecto apreciable es la mejora que experimentan las personas con discapacidad visual en su calidad de vida a la hora de usar los dispositivos descritos. Lo que no se comenta en ninguno de los estudios es la necesidad de ayuda que deben experimentar los usuarios. Los familiares y/o amigos deben implicarse en los entrenamientos con los dispositivos y en su uso para obtener unos resultados mejores. El conjunto de un buen uso, el apoyo de otras personas y una buena actitud ante la discapacidad tiene como consecuencia la autonomía del paciente y una mejora en su autoestima.

En general, los dispositivos que utilizan las nuevas tecnologías suponen una herramienta bastante válida y, aunque empeoren la movilidad por aumentar el tiempo de desplazamiento y necesiten de más investigación, mejoran significativamente la detección de obstáculos, la autonomía del paciente y, por consiguiente, su calidad de vida.

## 7. Bibliografía

Angelopoulos, A. N., Ameri, H., Mitra, D., & Humayun, M. (2019). Enhanced Depth Navigation Through Augmented Reality Depth Mapping in Patients with Low Vision. *Scientific Reports*, 9(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-019-47397-w>

Bowman, E. L., & Liu, L. (2017). Individuals with severely impaired vision can learn useful orientation and mobility skills in virtual streets and can use them to improve real street safety. *PLOS ONE*, 12(4), e0176534. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0176534>

Chang, K. J., Dillon, L. L., Deverell, L., Boon, M. Y., & Keay, L. (2020). Orientation and mobility outcome measures. *Clinical and Experimental Optometry*, 103(4), 434–448. <https://doi.org/10.1111/cxo.13004>

Crossland, M. D., Starke, S. D., Imielski, P., Wolffsohn, J. S., & Webster, A. R. (2019). Benefit of an electronic head-mounted low vision aid. *Ophthalmic and Physiological Optics*, 39(6), 422–431. <https://doi.org/10.1111/opo.12646>

Deemer, A. D., Swenor, B. K., Fujiwara, K., Deremeik, J. T., Ross, N. C., Natale, D. M., Bradley, C. K., Werblin, F. S., & Massof, R. W. (2019). Preliminary Evaluation of Two Digital Image Processing Strategies for Head-Mounted Magnification for Low Vision Patients. *Translational Vision Science & Technology*, 8(1), 23. <https://doi.org/10.1167/tvst.8.1.23>

Deverell, L., Bentley, S. A., Ayton, L. N., Delany, C., & Keeffe, J. E. (2017). Effective mobility framework: A tool for designing comprehensive O&M outcomes research. *International Journal of Orientation & Mobility*, 7(1), 74–86. <https://doi.org/10.21307/ijom-2017-059>

Deverell, L., Meyer, D., Lau, B. T., al Mahmud, A., Sukunesan, S., Bhowmik, J., Chai, A., McCarthy, C., Zheng, P., Pipingas, A., & Islam, F. M. A. (2017). Optimising technology to measure functional vision, mobility and service outcomes for people with low vision or blindness: protocol for a prospective cohort study in Australia and Malaysia. *BMJ Open*, 7(12), e018140. <https://doi.org/10.1136/bmjopen-2017-018140>

Freedman, A., Achtemeier, J., Baek, Y., & Legge, G. E. (2019). Gaze behavior during navigation with reduced acuity. *Experimental Eye Research*, 183, 20–28. <https://doi.org/10.1016/j.exer.2018.11.002>

Gopalakrishnan, S., Jacob, C. E. S., Kumar, M., Karunakaran, V., & Raman, R. (2020). Comparison of Visual Parameters Between Normal Individuals and People with Low Vision in a Virtual Environment. *Cyberpsychology, Behavior, and Social Networking*, 23(3), 171–178. <https://doi.org/10.1089/cyber.2019.0235>

Hakobyan, L., Lumsden, J., O’Sullivan, D., & Bartlett, H. (2013). Mobile assistive technologies for the visually impaired. *Survey of Ophthalmology*, 58(6), 513–528. <https://doi.org/10.1016/j.survophthal.2012.10.004>

Hicks, S. L., Wilson, I., Muhammed, L., Worsfold, J., Downes, S. M., & Kennard, C. (2013). A Depth-Based Head-Mounted Visual Display to Aid Navigation in Partially Sighted Individuals. *PLoS ONE*, 8(7), e67695. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0067695>

Htike, H. M., Margrain, T. H., 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 & Technology*, 9(10), 26. <https://doi.org/10.1167/tvst.9.10.26>

Jones, P. R., Somoskeöy, T., Chow-Wing-Bom, H., & Crabb, D. P. (2020). Seeing other perspectives: evaluating the use of virtual and augmented reality to simulate visual impairments (OpenVisSim). *npj Digital Medicine*, 3(1). <https://doi.org/10.1038/s41746-020-0242-6>

Jones, T., & Troscianko, T. (2006). Mobility performance of low-vision adults using an electronic mobility aid. *Clinical and Experimental Optometry*, 89(1), 10–17. <https://doi.org/10.1111/j.1444-0938.2006.00004.x>

Kim, D. S., Wall Emerson, R., & Curtis, A. (2010). Analysis of user characteristics related to drop-off detection with long cane. *The Journal of Rehabilitation Research and Development*, 47(3), 233. <https://doi.org/10.1682/jrrd.2009.10.0175>

Kinateder, M., Gualtieri, J., Dunn, M. J., Jarosz, W., Yang, X. D., & Cooper, E. A. (2018). Using an Augmented Reality Device as a Distance-based Vision Aid—Promise and Limitations. *Optometry and Vision Science*, 95(9), 727–737. <https://doi.org/10.1097/oxp.0000000000001232>

Legge, G. E., Beckmann, P. J., Tjan, B. S., Havey, G., Kramer, K., Rolkosky, D., Gage, R., Chen, M., Puchakayala, S., & Rangarajan, A. (2013). Indoor Navigation by People with Visual Impairment Using a Digital Sign System. *PLoS ONE*, 8(10), e76783. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0076783>

lo Valvo, A., Croce, D., Garlisi, D., Giuliano, F., Giarré, L., & Tinnirello, I. (2021). A Navigation and Augmented Reality System for Visually Impaired People. *Sensors*, 21(9), 3061. <https://doi.org/10.3390/s21093061>

Massiceti, D., Hicks, S. L., & van Rheede, J. J. (2018). Stereosonic vision: Exploring visual-to-auditory sensory substitution mappings in an immersive virtual reality navigation paradigm. *PLOS ONE*, 13(7), e0199389. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0199389>

McMullan, K. S., & Butler, M. (2018). Low vision and mobility scooters: the experiences of individuals with low vision who use mobility scooters. *Disability and Rehabilitation: Assistive Technology*, 14(6), 574–580. <https://doi.org/10.1080/17483107.2018.1470685>

Neugebauer, A., Rifai, K., Getzlaff, M., & Wahl, S. (2020). Navigation aid for blind persons by visual-to-auditory sensory substitution: A pilot study. *PLOS ONE*, 15(8), e0237344. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0237344>

Papadopoulos, K., Koustriava, E., & Koukourikos, P. (2017). Orientation and mobility aids for individuals with blindness: Verbal description vs. audio-tactile map. *Assistive Technology*, 30(4), 191–200. <https://doi.org/10.1080/10400435.2017.1307879>

Papadopoulos, K., Koustriava, E., Koukourikos, P., Kartasidou, L., Barouti, M., Varveris, A., Misiou, M., Zacharogeorga, T., & Anastasiadis, T. (2016). Comparison of three orientation and mobility aids for individuals with blindness: Verbal description, audio-tactile map and audio-haptic map. *Assistive Technology*, 29(1), 1–7. <https://doi.org/10.1080/10400435.2016.1171809>

Patel, K., & Parmar, B. (2020). Assistive device using computer vision and image processing for visually impaired; review and current status. *Disability and Rehabilitation: Assistive Technology*, 1–8. <https://doi.org/10.1080/17483107.2020.1786731>

Real, S., & Araujo, A. (2021). VES: A Mixed-Reality Development Platform of Navigation Systems for Blind and Visually Impaired. *Sensors*, 21(18), 6275. <https://doi.org/10.3390/s21186275>

Shah, P., Schwartz, S. G., Gartner, S., Scott, I. U., & Flynn, H. W. (2018). Low vision services: a practical guide for the clinician. *Therapeutic Advances in Ophthalmology*, 10, 251584141877626. <https://doi.org/10.1177/2515841418776264>

Shen, T., Afsar, M. R., Zhang, H., Ye, C., & Shen, X. (2020). A 3D Computer Vision-Guided Robotic Companion for Non-Contact Human Assistance and Rehabilitation. *Journal of Intelligent & Robotic Systems*, 100(3–4), 911–923. <https://doi.org/10.1007/s10846-020-01258-1>

Wittich, W., Lorenzini, M. C., Markowitz, S. N., Tolentino, M., Gartner, S. A., Goldstein, J. E., & Dagnelie, G. (2018). The Effect of a Head-mounted Low Vision Device on Visual Function. *Optometry and Vision Science*, 95(9), 774–784. <https://doi.org/10.1097/OPX.0000000000001262>

Zijlstra, G. R., Balleman, J., & Kempen, G. I. (2012). Orientation and mobility training for adults with low vision: a new standardized approach. *Clinical Rehabilitation*, 27(1), 3–18. <https://doi.org/10.1177/0269215512445395>