



Universidad de Valladolid

FACULTAD DE MEDICINA

Máster en Rehabilitación Visual

MEMORIA TRABAJO FIN DE MÁSTER TITULADO

Nuevas Tecnologías como Apoyo a la Rehabilitación Visual

Presentado por: Antía Varela Donsión

Tutelado por: Eduardo García Vicente

En Valladolid, a 4 de julio de 2025

ÍNDICE

RESUMEN	4
ABSTRACT	5
CAPÍTULO 1	6
1. INTRODUCCIÓN	6
CAPÍTULO 2	9
2. METODOLOGÍA	9
CAPÍTULO 3	10
3. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LAS TECNOLOGÍAS DE ASISTENCIA PARA PERSONAS CON DISCAPACIDAD VISUAL	10
3.1 INTRODUCCIÓN	10
3.2 EVOLUCIÓN DE LAS AYUDAS VISUALES CLÁSICAS	11
3.2.1 Ayudas ópticas tradicionales	11
3.2.2 Braille y dispositivos Braille electrónicos	12
3.2.3 Magnificadores electrónicos y tecnologías de ampliación	13
3.2.4 Lectores de pantalla y sistemas de conversión de texto a voz	14
3.3 LA REVOLUCIÓN DE LAS TECNOLOGÍAS PORTÁTILES (<i>WEARABLES</i>)	16
3.3.1 Dispositivos hápticos portátiles	16
3.3.2 Dispositivos de sustitución sensorial	17
3.3.3 <i>Smartphones</i> y apps de navegación	18
CAPÍTULO 4	20
4. CLASIFICACIÓN DE LAS AYUDAS TECNOLÓGICAS ACTUALES PARA PERSONAS CON DISCAPACIDAD VISUAL	20
4.1 Ayudas basadas en Realidad Aumentada y Realidad Virtual	20
4.1.1 <i>Aira Smart Glasses</i>	21
4.1.2 <i>Seeing VR</i>	22
4.2 Dispositivos de asistencia a la movilidad: Bastones Virtuales	24
4.3 Ayudas basadas en Inteligencia Artificial	25
4.3.1 <i>Be My Eyes (Be My AI)</i>	26
4.3.2 <i>Seeing AI</i>	27
4.3.3 <i>OrCam MyEye Pro</i>	28

4.4 Ayudas basadas en dispositivos Wearables	30
4.4.1 <i>Envision Glasses</i>	30
4.4.2 <i>Biped.ai (NOA)</i>	32
4.5 Aplicaciones móviles accesibles	34
4.5.1 <i>Voice Dream Reader</i>	35
4.5.2 <i>Lazarillo App</i>	36
4.5.3 <i>Supersense</i>	37
4.6 Tecnologías emergentes	38
4.6.1 Terapia génica	39
4.6.2 Prótesis visuales avanzadas: PRIMA	40
4.6.3 Prótesis corticales: Sistema <i>Gennaris</i>	41
CAPÍTULO 5	44
5. DISCUSIÓN	44
CAPÍTULO 6	47
6. CONCLUSIONES	47
6.1 Resumen de hallazgos	47
6.2 Recomendaciones generales	48
6.3 Reflexión final	48
7. BIBLIOGRAFÍA	49

RESUMEN

La baja visión se define como una pérdida visual significativa que no puede ser corregida completamente mediante métodos convencionales, de forma que, si bien puede existir cierto resto visual, este resulta insuficiente para realizar las tareas esenciales de la vida diaria. Esta condición, irreversible en la mayoría de los casos, afecta directamente a la autonomía y autoestima de quien la padece, y está asociada a diversas patologías oculares como la degeneración macular, el glaucoma o la retinopatía diabética.

Este trabajo final de máster se centra en el análisis y clasificación de las principales tecnologías de asistencia visual disponibles actualmente para personas con baja visión. A lo largo del documento se ha realizado un recorrido por la evolución histórica de las distintas ayudas, con el objetivo principal de explorar las tendencias tecnológicas actuales y futuras en este ámbito, así como identificar las barreras que dificultan su adopción masiva.

La metodología empleada ha consistido en una revisión comparativa y descriptiva de los distintos tipos de ayudas, analizando su funcionamiento, aplicabilidad clínica, ventajas, limitaciones, accesibilidad económica y comercial, así como su grado de conocimiento entre profesionales de la visión.

Se concluye que, a pesar del enorme avance tecnológico en este campo, existen importantes obstáculos económicos, formativos y estructurales que impiden su integración efectiva en el sistema sanitario y en la práctica clínica diaria. Asimismo, se destaca el desconocimiento generalizado entre parte del colectivo profesional y de los propios usuarios. Por todo ello, se considera fundamental reforzar la formación universitaria en este ámbito, fomentar políticas de apoyo institucional y promover una mayor inclusión de estas tecnologías en la atención a la baja visión.

ABSTRACT

Low vision is defined as a significant visual loss that cannot be completely corrected by conventional methods, so that, although there may be some residual vision, it is insufficient to carry out the essential tasks of daily life. This condition, which is irreversible in most cases, directly affects the autonomy and self-esteem of the sufferer, and is associated with various ocular pathologies such as macular degeneration, glaucoma or diabetic retinopathy.

This final master's thesis focuses on the analysis and classification of the main assistive technologies currently available for people with low vision. Throughout the document, a review of the historical evolution of the different aids has been carried out, with the main objective of exploring the current and future technological trends in this field, as well as identifying the barriers that hinder their mass adoption.

The methodology used consisted of a comparative and descriptive review of the different types of aids, analysing their functioning, clinical applicability, advantages, limitations, economic and commercial accessibility, as well as their degree of awareness among eye care professionals.

It is concluded that, despite the enormous technological progress in this field, there are significant economic, training and structural obstacles that prevent its effective integration into the health system and daily clinical practice. It also highlights the general lack of knowledge among the professional community and the users themselves. For all these reasons, it is considered essential to reinforce university training in this field, to encourage institutional support policies and to promote greater inclusion of these technologies in low vision care.

CAPÍTULO 1

1. INTRODUCCIÓN

El concepto de baja visión hace referencia a una importante pérdida de la agudeza visual y/o del campo visual, normalmente resultado de patologías oculares degenerativas o hereditarias. Esta condición dificulta para el que la padece el poder realizar las actividades cotidianas, como pueden ser actividades relacionadas con el cuidado personal o las actividades domésticas. Además, esta agudeza visual no puede ser compensada hasta niveles de rendimiento óptimos con gafas, lentes de contacto o cirugía, considerándose por ello una limitación visual irreversible.

Según la Organización Mundial de la Salud (OMS), la baja visión es una de las principales causas de discapacidad visual en el mundo, afectando a millones de personas (World Health Organization [WHO], 2022). En España, se considera ceguera legal a una agudeza visual menor de 20/200 o bien un campo visual central de 10 grados o menos.

Entre las principales patologías asociadas a baja visión se encuentran:

- Degeneración macular asociada a la edad (DMAE): Es la causa más común de baja visión en personas mayores de 50 años y afecta principalmente al campo visual central, dificultando actividades como la lectura, la escritura y el reconocimiento de rostros.

- Glaucoma: Es una enfermedad progresiva del nervio óptico que provoca la pérdida del campo visual periférico. Las personas con glaucoma avanzado pueden experimentar dificultades para desplazarse de manera segura, aumentando el riesgo de caídas y lesiones.

- Retinopatía diabética: Es una complicación de la diabetes que daña los vasos sanguíneos de la retina, generando hemorragias y una pérdida gradual de la visión.

- Retinosis pigmentaria: Es una enfermedad hereditaria que afecta a los fotorreceptores y provoca una degeneración progresiva de la retina, desembocando en ceguera nocturna y reducción del campo visual. La dificultad para adaptarse a cambios de luz y la visión en túnel pueden hacer que el paciente evite actividades nocturnas y espacios mal iluminados.

- Miopía magna: Es una forma severa de miopía que conlleva alargamiento excesivo del globo ocular, lo que puede derivar en complicaciones como desprendimiento de retina y degeneración macular mópica.

En la siguiente imagen podemos observar el porcentaje de prevalencia de las distintas causas de baja visión en el mundo (**Figura 1**). Vemos como, en 2010, los errores refractivos (ER) representaban la causa más frecuente de baja visión, con un porcentaje del 42% y, en segundo lugar, las cataratas, con un 33%

de prevalencia.

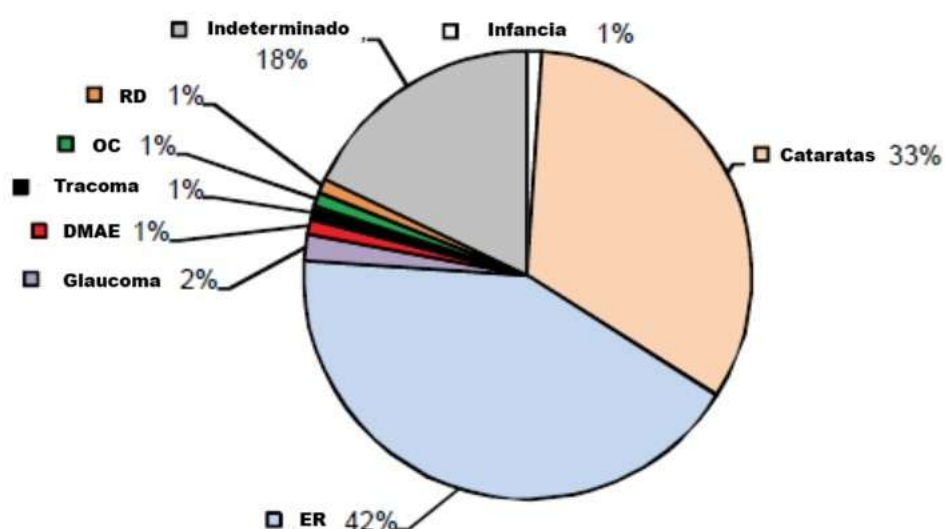


Figura 1. Distribución de las causas de baja visión en el mundo. Abreviaturas: ER (errores refractivos), DMAE (degeneración macular asociada a la edad), OC (opacidades corneales), RD (retinopatía diabética). Fuente: Adaptado de Pascolini y Mariotti (2012).

El impacto de la baja visión es, por tanto, profundo, ya que afecta múltiples aspectos de la vida de quienes la padecen. En el ámbito educativo, los niños con baja visión enfrentan dificultades para acceder al material de estudio convencional, lo que puede afectar su rendimiento académico. En el entorno laboral, las personas con discapacidad visual suelen encontrar barreras para acceder a empleos adecuados, lo que limita sus oportunidades económicas y su independencia. A nivel psicológico, la pérdida progresiva de la visión puede generar estrés, ansiedad y depresión, afectando la autoestima.

Además, debido al aumento de la esperanza de vida y al envejecimiento global de la población, se espera que el número de personas con discapacidad visual se duplique hacia 2050 (Jensen & Stagg, 2024; Bourne et al., 2017). En 2015, aproximadamente 217 millones de personas tenían discapacidad visual moderada o grave, y se proyecta que esta cifra alcanzará los 588 millones en 2050 (Bourne et al., 2017; Jensen & Stagg, 2024). De manera similar, estudios globales indican que el número de personas con ceguera moderada a grave podría ascender a cerca de 474 millones para el mismo año (GBD 2020 Blindness and Vision Impairment Collaborators, 2021).

En los últimos años, el desarrollo de nuevas tecnologías ha abierto nuevas posibilidades para mejorar la calidad de vida de las personas con baja visión. Dispositivos electrónicos como gafas inteligentes con realidad aumentada, sistemas de inteligencia artificial que describen el entorno, aplicaciones móviles de asistencia visual y lectores de pantalla avanzados han demostrado ser herramientas útiles para mejorar la autonomía de los usuarios. Por ejemplo, los estudios sobre gafas inteligentes con IA han mostrado mejoras en la movilidad y la capacidad de agarre en personas con retinitis pigmentaria, con un aumento del 50 % en movilidad y del 70 % en destreza manual durante tareas cotidianas

(USC Keck School of Medicine, 2019). Además, las tecnologías de accesibilidad basadas en principios de diseño universal han permitido que estos avances sean más inclusivos y accesibles para un mayor número de personas (Frontiers in Rehabilitation Sciences, 2023).

El presente trabajo tiene como objetivo general analizar el estado actual de las tecnologías diseñadas para mejorar la calidad de vida de las personas con baja visión, a través de una revisión bibliográfica de los últimos avances en este ámbito.

Para lograrlo, se han establecido los siguientes objetivos específicos:

1. Resaltar la importancia y la necesidad de los avances tecnológicos en el apoyo a personas con baja visión, destacando su papel en la autonomía y la inclusión social.
2. Identificar y analizar tecnologías actuales diseñadas para personas con baja visión, prestando especial atención a aquellas que siguen principios de diseño universal y pueden ser utilizadas por el mayor número posible de personas.
3. Comparar las ventajas y limitaciones de las distintas tecnologías disponibles, evaluando factores como facilidad de uso, costo, accesibilidad y compatibilidad con diferentes patologías.
4. Desarrollar criterios para la selección de la tecnología más adecuada en función de la patología específica de baja visión, proporcionando recomendaciones basadas en la literatura.
5. Explorar tendencias futuras en el desarrollo de nuevas tecnologías y analizar posibles barreras en su adopción.

Dado que este trabajo se basa en una revisión bibliográfica, no se formularán hipótesis, ya que no se llevará a cabo un experimento ni un análisis de datos propio. En su lugar, el estudio se centrará en sintetizar, analizar y comparar información de distintas fuentes con el fin de proporcionar una visión general sobre el estado actual y las perspectivas futuras de las tecnologías aplicadas a la rehabilitación visual.

Este análisis permitirá comprender cómo las nuevas tecnologías pueden contribuir a mejorar la vida de las personas con baja visión y qué desafíos deben abordarse para garantizar su accesibilidad y efectividad. En los siguientes capítulos, se explorarán las principales innovaciones en este campo, evaluando su impacto y su potencial para seguir evolucionando en beneficio de quienes más lo necesitan.

CAPÍTULO 2

2. METODOLOGÍA

Para la elaboración del presente trabajo se llevó a cabo una revisión bibliográfica con búsqueda sistemática en fuentes científicas y académicas. Las principales plataformas consultadas fueron *PubMed*, *Google Scholar*, *arXiv*, *Medline*, *ResearchGate*, *SpringerLink*, *Elsevier*, *Dialnet* y *RefSeek*, siendo *PubMed* y *Google Scholar* las más utilizadas debido a la calidad, relevancia y frecuencia de actualización de sus contenidos.

Para la búsqueda de artículos, se emplearon las siguientes palabras clave: "*Low Vision*", "*Visual Impairment*", "*Electronic Aids*", "*Assistive Technology*", "*Low Vision Devices*", "*Electronic Magnifiers*", "*Wearable Devices*", "*Smart Glasses*", "*Augmented Reality*", "*Rehabilitation for Visual Impairment*", "*Reading Aids*", "*Accessibility Technology*", "*Visual Rehabilitation*", así como diversas combinaciones de estas, tales como: "*Low Vision*" AND "*Electronic Aids*", "*Visual Impairment*" AND "*Assistive Technology*", "*Low Vision Devices*" AND "*Wearable Technology*", entre otras.

Se incluyeron en el estudio aquellos trabajos que, publicados entre 2015 y 2025, estuvieran redactados en inglés o español, ofrecieran acceso al texto completo (ya fuera gratuito o mediante recursos institucionales), y estuvieran indexados en bases de datos reconocidas o con revisión por pares. Asimismo, debían tratar sobre discapacidad visual en relación con ayudas tecnológicas o dispositivos electrónicos de asistencia, y mostrar una clara pertinencia temática conforme a los objetivos del trabajo. Se consideraron únicamente artículos originales, revisiones sistemáticas o metaanálisis que cumplieran con los criterios de calidad científica.

Se excluyeron del análisis por tanto: artículos centrados en discapacidades distintas a la visual, publicaciones anteriores a 2015, estudios que no ofrecían acceso libre o cuyo contenido completo no estaba disponible y estudios de baja calidad académica.

Durante la estrategia de búsqueda sistemática se identificaron inicialmente 160 publicaciones potencialmente relevantes. En un primer cribado, se excluyeron 20 artículos por no encontrarse dentro del intervalo de tiempo establecido (2015–2025). Posteriormente, tras la lectura de títulos y resúmenes, se seleccionaron 125 publicaciones por cumplir con la temática y los criterios preliminares de pertinencia. De estas, 15 estudios fueron excluidos por no cumplir otros criterios de inclusión, como la falta de acceso al texto completo. Un total de 110 publicaciones fueron seleccionadas para lectura crítica, tras la cual se excluyeron 2 artículos por presentar limitaciones metodológicas importantes. Finalmente, 108 publicaciones fueron incluidas en el estudio y conforman la base bibliográfica del presente trabajo.

CAPÍTULO 3

3. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LAS TECNOLOGÍAS DE ASISTENCIA PARA PERSONAS CON DISCAPACIDAD VISUAL

3.1 INTRODUCCIÓN

Las personas con discapacidad visual enfrentan múltiples desafíos en su vida diaria, especialmente en tareas como el desplazamiento por espacios urbanos, el acceso a la información escrita y la participación plena en actividades sociales y educativas. La reducción o ausencia de visión no solo limita la interacción con el entorno, sino que también afecta la autonomía, la calidad de vida y las oportunidades de inclusión (Casanova et al., 2025).

La Organización Mundial de la Salud (OMS) estima que más de mil millones de personas en el mundo viven con algún grado de discapacidad visual, lo que subraya la magnitud del problema y la urgencia de soluciones accesibles y eficaces (Santos et al., 2021). Dentro de este contexto, las tecnologías de asistencia (AT, por sus siglas en inglés) han emergido como herramientas fundamentales para facilitar la participación independiente en la sociedad, reducir barreras físicas y sociales, y promover la equidad (Zallio & Ohashi, 2022).

Desde sus primeras formas —como lupas y bastones— hasta los actuales sistemas inteligentes basados en inteligencia artificial, las tecnologías de asistencia han experimentado una evolución significativa. No solo han mejorado en términos de funcionalidad y portabilidad, sino que también se han diversificado para adaptarse a distintos niveles de pérdida visual, contextos de uso y preferencias individuales (Zhang et al., 2024).

Frente a esta evolución tan dinámica y diversa, este capítulo tiene como objetivo ofrecer una panorámica cronológica del desarrollo de las tecnologías de asistencia para personas con discapacidad visual (**Figura 2**). Se presentarán los principales hitos, innovaciones y enfoques que han marcado su evolución, diferenciando entre aquellas tecnologías con un impacto sostenido y aquellas más puntuales. Esta contextualización permitirá entender mejor el siguiente capítulo, donde se abordará la clasificación detallada de las ayudas tecnológicas más actuales e innovadoras.



Figura 2. Diagrama cronológico de la evolución de las tecnologías de asistencia para personas con discapacidad visual. Fuente: Elaboración propia a partir de los contenidos del capítulo 3.

3.2 EVOLUCIÓN DE LAS AYUDAS VISUALES CLÁSICAS

3.2.1 Ayudas ópticas tradicionales

Antes de la llegada de los sistemas electrónicos, las ayudas ópticas tradicionales representaban el recurso principal para personas con baja visión. Estas soluciones, centradas en la ampliación de la imagen proyectada en la retina, han permitido durante décadas mejorar la capacidad de lectura, observación de imágenes y ejecución de tareas cotidianas que requieren percepción visual en detalle (Zallio & Ohashi, 2022).

Entre las ayudas ópticas más comunes se encuentran las lupas de mano, las lupas con soporte y los sistemas de lentes de aumento montados en gafas. Estas tecnologías son relativamente simples en su diseño: emplean principios ópticos básicos para proporcionar un aumento variable.

A pesar de su aparente sencillez, las lupas y sistemas ópticos han sido clave para promover la autonomía en actividades de lectura, escritura, cocina, trabajo manual y muchas otras tareas de la vida diaria. Su bajo coste y facilidad de uso han contribuido a su adopción masiva en todo el mundo (Crossland et al., 2017).

Sin embargo, estas ayudas presentan limitaciones inherentes: el campo visual reducido, la necesidad de mantener una distancia focal precisa y la ausencia de funcionalidades dinámicas dificultan su uso prolongado y su adaptabilidad a entornos cambiantes. Por este motivo, a medida que la tecnología digital ha avanzado, las ayudas ópticas tradicionales han sido progresivamente complementadas —y en algunos casos sustituidas— por dispositivos electrónicos más versátiles, como los magnificadores digitales y las

aplicaciones de ampliación en tablets y *smartphones*, sobre las que hablaremos en detalle más adelante (Zallio & Ohashi, 2022; Crossland et al., 2017).

A pesar de estas limitaciones, las ayudas ópticas tradicionales siguen teniendo un papel relevante, especialmente para personas con discapacidades visuales leves o como recurso de apoyo complementario a tecnologías más avanzadas. Además, su accesibilidad económica y su disponibilidad en contextos con menores recursos tecnológicos las mantiene como una opción vigente en muchos sistemas de atención a la baja visión.

3.2.2 Braille y dispositivos Braille electrónicos

El sistema Braille, desarrollado por Louis Braille en el siglo XIX (Lorimer, 1996), ha representado durante más de 150 años la principal vía de alfabetización para las personas ciegas. Basado en un código de seis puntos en relieve, permite representar letras, números y otros símbolos mediante combinaciones táctiles, facilitando la lectura y escritura sin necesidad de visión. A lo largo del tiempo, el sistema Braille ha sido adoptado en múltiples idiomas y se ha convertido en un estándar internacional para el acceso a la información textual en formatos físicos.

Con el avance de la tecnología digital, surgieron nuevos dispositivos capaces de integrar el sistema Braille en entornos electrónicos. Los displays Braille electrónicos representan uno de los desarrollos más importantes en este ámbito (**Figura 3**). Estos dispositivos convierten información textual digital en caracteres Braille, que se actualizan mediante celdas Braille electrónicas compuestas por pequeños actuadores mecánicos (Zallio & Ohashi, 2022).

Gracias a estos displays, las personas ciegas pueden interactuar con ordenadores, *smartphones* y otros dispositivos digitales de manera accesible. También permiten navegar por internet y gestionar correos electrónicos. Asimismo, se han desarrollado herramientas específicas que permiten convertir fórmulas matemáticas en representaciones accesibles para usuarios de dispositivos Braille electrónicos, facilitando así el aprendizaje de contenido científico y técnico (Asebriy et al., 2018).



Figura 3. Dispositivo Braille electrónico. Fuente: Adaptado de La Razón, por F. H. Torres D., 2016, <https://www.larazon.es/economia/economia-digital/braile-digital-JO11791495/>. Copyright © La Razón. Adaptación propia.

3.2.3 Magnificadores electrónicos y tecnologías de ampliación

Entre las soluciones más extendidas para personas con baja visión se encuentran los magnificadores electrónicos, también denominados sistemas de ampliación digital. Estos dispositivos permiten incrementar significativamente el tamaño aparente de los objetos o textos, facilitando su percepción visual para aquellas personas que conservan cierto resto de visión funcional (Zallio & Ohashi, 2022; Crossland et al., 2017).

A diferencia de las lupas ópticas tradicionales, los magnificadores electrónicos ofrecen funcionalidades avanzadas, como la posibilidad de ajustar el nivel de aumento, modificar el contraste, cambiar la combinación de colores y/o aplicar filtros personalizados. Estas características permiten adaptar la visualización a las necesidades específicas de cada usuario y a las condiciones de iluminación del entorno (Crossland et al., 2017; Zallio & Ohashi, 2022).

Un ejemplo clásico de magnificador electrónico es el televisor de circuito cerrado (CCTV), que proyecta en una pantalla ampliada la imagen capturada por una cámara enfocada sobre el texto u objeto de interés (**Figura 4**). Los sistemas CCTV fueron durante años la solución de referencia en entornos educativos y profesionales para personas con baja visión (Crossland et al., 2017).



Figura 4. Televisor de circuito cerrado (CCTV). Fuente: Adaptado de CRAC Colombia – Centro de Salud Visual (s.f.), <https://cracolombia.org/centro-de-salud-visual/servicio>.
Derechos © Centro de Rehabilitación para Adultos Ciegos – CRAC. Adaptación propia.

Con el avance de la tecnología, este tipo de soluciones se han ido integrando progresivamente en dispositivos más portátiles y versátiles, como las tablets y los *smartphones*. Actualmente, numerosas aplicaciones permiten transformar estos dispositivos móviles en potentes magnificadores electrónicos, con la ventaja añadida de su portabilidad y su integración con otras herramientas de accesibilidad (Crossland et al., 2017). Además, muchas de estas aplicaciones integran tecnologías de reconocimiento óptico de caracteres (OCR), que permiten convertir texto impreso en voz o en texto digital accesible en tiempo real (Teng et al., 2015).

La efectividad de estas aplicaciones ha sido validada en estudios empíricos. Por ejemplo, una investigación reciente realizada por Da Silva et al. (2020) evaluó varias aplicaciones de lectura en *smartphones* utilizadas por pacientes con baja visión, observando que todas ellas mejoraron significativamente la agudeza visual y el rendimiento lector, con una ganancia promedio superior a 9 líneas. Además, estas aplicaciones obtuvieron puntuaciones altas en usabilidad, con valores medios superiores a 7 sobre 10, lo que indica una buena aceptación por parte de los usuarios.

3.2.4 Lectores de pantalla y sistemas de conversión de texto a voz

El uso de lectores de pantalla y sistemas de conversión texto a voz (TTS, por sus siglas en inglés) representa actualmente una de las soluciones más relevantes para garantizar el acceso digital de las personas con discapacidad visual. Según Zallio y Ohashi (2022), estos sistemas constituyen un recurso clave para asistir a una amplia variedad de personas con discapacidades visuales mínimas, moderadas o severas.

Los primeros lectores de pantalla surgieron a principios de los años 80, con el objetivo de permitir que las personas ciegas pudieran acceder al contenido textual en sistemas basados en MS-DOS (Microsoft Disk Operating System), mediante síntesis de voz o líneas Braille electrónicas (Knowbility, 2021). Estos desarrollos iniciales sentaron las bases para la evolución posterior de estas

tecnologías en sistemas operativos gráficos.

En la actualidad, todos los sistemas operativos modernos incluyen lectores de pantalla nativos que permiten navegar de forma no visual por la interfaz gráfica y los contenidos digitales. Algunos de los ejemplos más destacados son Narratoria (Windows), VoiceOver (macOS e iOS) y TalkBack (Android) (WebAIM, 2021).

Por su parte, los sistemas TTS han experimentado avances significativos en los últimos años, especialmente en cuanto a la naturalidad de las voces sintéticas, la velocidad de lectura y las opciones de personalización (Knowbility, 2021). Estas mejoras han permitido que los lectores de pantalla se conviertan en herramientas esenciales no solo para la navegación digital, sino también para el acceso a libros, documentos, redes sociales y todo tipo de contenido textual.

El impacto de los lectores de pantalla y de los sistemas TTS en la educación, el empleo y la participación social de las personas con discapacidad visual ha sido ampliamente documentado (Knowbility, 2021), consolidándolos como una de las tecnologías de asistencia más democratizadas y de mayor impacto en la sociedad actual.

En la siguiente tabla (**Tabla 1**) se muestra un resumen con las principales características de las ayudas abordadas en este capítulo.

Tabla 1. Resumen de las principales tecnologías clásicas de asistencia.

Tecnología	Canal sensorial	¿Requiere visión residual?	Interacción principal	Ventajas clave	Limitaciones
Lupas ópticas	Visual	Sí	Manual	Baratas, fáciles de usar	Campo visual reducido, sin adaptabilidad
Sistema Braille	Táctil	No	Lectura táctil directa	Acceso estructurado a la escritura	Requiere aprendizaje
Displays Braille electrónicos	Táctil	No	Interfaz digital táctil	Navegación digital	Alto coste, tamaño limitado
Magnificadores electrónicos	Visual	Sí	Digital (pantalla/zoom)	Ajuste de contraste, OCR, portabilidad	Necesitan energía, más costosos
Lectores de pantalla / TTS	Auditivo	No	Voz sintetizada	Acceso total a textos digitales	Requiere aprendizaje

Fuente: Elaboración propia a partir del contenido del capítulo 3.2

3.3 LA REVOLUCIÓN DE LAS TECNOLOGÍAS PORTÁTILES (WEARABLES)

3.3.1 Dispositivos hápticos portátiles

Dentro del amplio abanico de tecnologías de asistencia para personas con discapacidad visual, los dispositivos hápticos portátiles han cobrado una relevancia creciente en los últimos años. Se trata de sistemas que proporcionan retroalimentación táctil (vibraciones, presión o movimiento localizado) y que pueden ser llevados directamente sobre el cuerpo, generalmente en forma de cinturones, bandas, chalecos o guantes.

Su principal objetivo es brindar información sobre el entorno y la navegación espacial mediante patrones táctiles codificados, permitiendo al usuario recibir estímulos sin comprometer otros canales sensoriales como el auditivo. Esta ventaja es especialmente significativa en entornos ruidosos o para usuarios que requieren mantener la atención auditiva libre (Casanova et al., 2025).

Entre los ejemplos más destacados se encuentran:

- Cinturones vibratorios (**Figura 5**), con entre 8 y 20 actuadores, que indican dirección u obstáculos en tiempo real mediante patrones rítmicos (Zhang et al., 2024).
- Bandas para muñeca o tobillo que informan de referencias espaciales mediante vibración localizada (**Figura 6**) (Santos et al., 2021).
- Chalecos táctiles que reparten estímulos hápticos a lo largo del torso, permitiendo mayor resolución espacial (Zhang et al., 2024).



Figura 5. Cinturón vibratorio. Fuente: Adaptado de InfoTecnoVision (2024), <https://www.infotecnovision.com/guidi-el-innovador-cinturon-inteligente-de-asistencia-a-la-movilidad-de-personas-ciegas-premio-innovation-awards-ces-2024/>.
Derechos © InfoTecnoVision. Adaptación propia.



Figura 6. Sunu Band, pulsera-reloj con sistema de detección de obstáculos por medio de ultrasonidos. Fuente: Adaptado de OrientaTech (s.f.), <https://orientatech.es/sunu-band/>. Derechos © OrientaTech. Adaptación propia.

Más allá del *hardware*, los sistemas más avanzados integran procesamiento inteligente y contexto ambiental, ajustando la retroalimentación háptica según la tarea, la orientación y los obstáculos dinámicos del entorno (Zhang et al., 2024).

No obstante, estos avances enfrentan desafíos importantes en términos de aceptación por parte de los usuarios. Según Tapu et al. (2020), factores como el peso, la autonomía de la batería, la facilidad de uso y la comodidad son determinantes en la adopción real de estos sistemas, siendo necesario un enfoque centrado en la experiencia de usuario para su desarrollo futuro.

3.3.2 Dispositivos de sustitución sensorial

Aunque algunos dispositivos hápticos portátiles descritos anteriormente pueden desempeñar funciones de sustitución sensorial, esta categoría se refiere específicamente a aquellos sistemas cuyo propósito central es transformar información visual en señales perceptibles por otros sentidos, como el tacto o el oído. La distinción radica en que estos dispositivos no solo median estímulos físicos, sino que permiten reinterpretar cognitivamente la información a través de vías sensoriales alternativas.

Este enfoque es fundamental para las personas con ceguera total o baja visión profunda, ya que permite acceder a contenido textual, gráfico o espacial de manera significativa, aunque requiera un aprendizaje o adaptación previa.

Entre los ejemplos más representativos se encuentran:

- Guantes hápticos para lectura Braille, que transmiten patrones vibratorios codificados para representar caracteres Braille en tiempo real (Zhang et al., 2024).
- Textiles inteligentes integrados en sistemas de asistencia que permiten representar contenido Braille mediante estímulos táctiles, a menudo en combinación con sistemas de conversión a voz (Zhang et al., 2024).
- TacTalk, un sistema multisensorial que combina mapas táctiles con retroalimentación auditiva, facilitando la navegación precisa en entornos interiores complejos (Minhat et al., 2020).

Estos sistemas no solo mejoran el acceso a información, sino que permiten representaciones espaciales, simbólicas y lingüísticas a través de la sustitución sensorial, superando las limitaciones del canal visual. Según Muhsin et al. (2023) este enfoque se ha mostrado eficaz, pero también plantea desafíos importantes, como la sobrecarga sensorial, la codificación háptica de alta precisión, y la necesidad de interfaces intuitivas.

Además, Tapu et al. (2020) subrayan que los dispositivos que requieren aprendizaje intensivo o generan alta carga cognitiva suelen tener menor aceptación, lo que refuerza la necesidad de diseños centrados en el usuario, personalizables y fácilmente adaptables.

En los últimos años, muchas soluciones de este tipo se han integrado en plataformas móviles, dando lugar a aplicaciones que combinan tecnologías sensoriales, navegación y procesamiento inteligente, lo cual analizaremos a continuación.

3.3.3 Smartphones y apps de navegación

En los últimos años, los *smartphones* se han consolidado como una plataforma central para la implementación de soluciones de navegación dirigidas a personas con discapacidad visual. Gracias a su potencia de procesamiento, conectividad constante y amplia gama de sensores integrados, estos dispositivos permiten procesar datos del entorno en tiempo real y transmitir información al usuario de manera accesible y portátil (Casanova et al., 2025; Santos et al., 2021).

Según Casanova et al. (2025), el uso de *smartphones* como interfaz de navegación está presente en cerca del 40 % de las soluciones descritas en la literatura reciente. Estos sistemas combinan sensores internos (como GPS de alta precisión, unidades de medición inercial y cámaras integradas) con sensores externos (como LiDAR, cámaras RGB-D o dispositivos hápticos), lo que permite una percepción enriquecida del entorno y una navegación más precisa.

La información recopilada es procesada mediante algoritmos de visión artificial y sistemas de posicionamiento, y luego se presenta al usuario a través de canales auditivos (como voz sintetizada o sonido espacial) o hápticos (vibraciones emitidas por dispositivos portátiles), según la preferencia o el contexto del usuario (Santos et al., 2021).

Una ventaja significativa de estas soluciones es la integración fluida con aplicaciones de uso cotidiano, como mapas, asistentes virtuales, mensajería y redes sociales, lo que favorece su adopción por parte de usuarios que ya están familiarizados con el uso del teléfono móvil, reduciendo así el tiempo de aprendizaje requerido (Casanova et al., 2025).

Algunos ejemplos recientes incluyen:

- BlindRouteVision y EchoSee, que combinan visión artificial y sonido

espacial para guiar al usuario en entornos urbanos complejos (Santos et al., 2021).

- BlindMuseumTourer, orientado a la navegación autónoma y contextualizada en interiores como museos o edificios históricos (Meliones & Sampson, 2016).

En conjunto, el uso de *smartphones* ofrece numerosas ventajas prácticas (Casanova et al., 2025; Santos et al., 2021):

- amplia disponibilidad comercial,
- familiaridad del usuario con el dispositivo,
- capacidad de personalización,
- actualizaciones frecuentes del software.

No obstante, como advierten Tapu et al. (2020), persisten desafíos técnicos como la sincronización de múltiples sensores, el consumo energético intensivo y la latencia en la entrega de información, que deben abordarse para garantizar una experiencia de navegación eficaz.

En la siguiente tabla (**Tabla 2**) se muestra un resumen con las principales características de las ayudas abordadas en este capítulo.

Tabla 2. Resumen de las principales tecnologías portátiles y móviles.

Tecnología	Modalidad	Canal sensorial principal	Tipo de ayuda	Nivel de integración	Ventajas
Cinturones hápticos	<i>Wearable</i> háptico	Táctil	Navegación	Emergente	No interfiere con canal auditivo
Guantes Braille hápticos	<i>Wearable</i> táctil	Táctil	Lectura Braille portátil	Experimental	Alternativa a displays
Textiles inteligentes / E-skin	Ropa asistiva	Táctil + auditivo	Sustitución sensorial	En desarrollo	Integración discreta en prendas
Apps móviles accesibles	App móvil	Visual + auditivo	OCR, GPS, lectura de textos	Alta	Alta adopción, muy accesibles
Smartphones + sensores externos	Plataforma mixta	Multisensorial	Navegación y entorno	Consolidado	Integra múltiples dispositivos en uno

Fuente: Elaboración propia a partir del contenido del capítulo 3.3

CAPÍTULO 4

4. CLASIFICACIÓN DE LAS AYUDAS TECNOLÓGICAS ACTUALES PARA PERSONAS CON DISCAPACIDAD VISUAL

4.1 Ayudas basadas en Realidad Aumentada y Realidad Virtual

La irrupción de tecnologías inmersivas como la realidad aumentada (RA) y la realidad virtual (RV) ha transformado profundamente el panorama de las ayudas técnicas para personas con discapacidad visual. Estas tecnologías ofrecen nuevas formas de interacción sensorial con el entorno, permitiendo una mejora en tareas relacionadas con la movilidad, el acceso a la información visual y la orientación espacial.

La RA permite superponer información digital en tiempo real sobre el entorno físico, combinando elementos del mundo real y virtual en una única experiencia interactiva (Ortiz et al., 2025). A diferencia de la RV, que sustituye completamente la percepción del entorno por uno simulado, la RA mantiene al usuario anclado a su contexto físico, incorporando estímulos visuales, sonoros o hápticos que enriquecen la experiencia sensorial (Cañavate & Hidalgo, 2018). Desde el punto de vista técnico, los sistemas de RA requieren dispositivos de visualización específicos —como gafas inteligentes o cámaras móviles— y un *software* que sincroniza el entorno físico con los elementos aumentados, lo que permite su adaptación a perfiles diversos de usuarios (Ortiz et al., 2025).

En el ámbito de la discapacidad visual, la RA ha ganado relevancia como herramienta de apoyo en tareas como la lectura, el reconocimiento de objetos o la navegación. Algunas soluciones permiten, por ejemplo, ampliar el campo visual de personas con pérdida periférica mediante cámaras externas y proyecciones asistidas, como se ha demostrado con dispositivos como *Retiplus* (Ortiz et al., 2025). Otros enfoques, como el de la RA auditiva, convierten la información visual en descripciones tridimensionales sonoras o señales espaciales, especialmente útiles en personas ciegas (Herskovitz et al., 2020).

Por su parte, la RV genera entornos completamente inmersivos simulados, lo que permite crear contextos controlados y seguros para el entrenamiento de habilidades funcionales en personas con discapacidad visual (Ricci et al., 2024). Este tipo de entornos pueden replicar estaciones de metro, calles, interiores de edificios y otros espacios urbanos con un alto nivel de realismo.

Asimismo, la RV ha demostrado utilidad en el desarrollo de interfaces accesibles mediante sistemas que interpretan escenas visuales y las describen en lenguaje natural, como es el caso de *EnVisionVR*, que combina modelos de lenguaje visual con reconocimiento de voz (Chen et al., 2025). A pesar de sus avances, esta tecnología todavía enfrenta desafíos en términos de coste, portabilidad y validación clínica, ya que muchas soluciones están en fase

experimental o requieren dispositivos complejos (Mencagli et al., 2023; Bernell et al., 2024).

En conjunto, tanto la RA como la RV representan enfoques complementarios para enriquecer la percepción y la autonomía de las personas con discapacidad visual, especialmente cuando se integran con otras tecnologías de asistencia.

En la siguiente tabla (**Tabla 3**) se realiza una comparación entre RA y RV.

Tabla 3. Comparativa entre RA y RV.

Categoría	Realidad Aumentada	Realidad Virtual
Definición general	Superposición de elementos digitales sobre el entorno real.	Entorno completamente simulado e inmersivo.
Interacción con el entorno	Permite interacción en tiempo real con el mundo físico.	Sustituye el entorno real por uno artificial.
Aplicación en discapacidad visual	Transforma estímulos visuales en auditivos o hápticos para mejorar orientación.	Simula entornos accesibles para entrenamiento y rehabilitación.
Ventajas	Mayor portabilidad y menor coste; útil en movilidad.	Alto potencial en simulación de tareas y mejora de habilidades en entornos controlados.
Limitaciones	Requiere percepción mínima del entorno o integración multimodal.	Coste elevado y posible sobrecarga sensorial.

Fuente: Elaboración propia

A continuación, se analizan dos ejemplos representativos que aplican estas tecnologías en contextos reales: *Aira Smart Glasses* y *SeeingVR*.

4.1.1 *Aira Smart Glasses*

Uno de los ejemplos más representativos de RA aplicada a la discapacidad visual es *Aira Smart Glasses* (**Figura 7**), un sistema desarrollado por *Aira Tech Corporation* que combina dispositivos portables (gafas inteligentes con cámara) con asistencia remota en tiempo real. Este servicio permite a personas con baja visión o ceguera conectarse con un agente humano a través de una aplicación móvil, quien accede al vídeo en *streaming* captado por la cámara de las gafas del usuario y proporciona orientación verbal precisa sobre el entorno o las tareas a realizar (Nguyen et al., 2019).

Las gafas *Aira* han demostrado un alto impacto en la autonomía personal de sus usuarios. Un estudio clínico con más de 878 participantes y 10.000

llamadas analizadas concluyó que las tareas más comunes asistidas por *Aira* fueron la lectura de textos impresos (35 %), la navegación tanto en interiores como exteriores (33 %) y la gestión del hogar (16 %) (Nguyen et al., 2019). Este análisis también reveló diferencias significativas en el uso del sistema según el género, el grado de pérdida visual y la franja horaria, lo cual sugiere una amplia versatilidad y adaptabilidad a diversas condiciones personales y contextuales.

En cuanto a las ventajas, *Aira* destaca por su facilidad de uso, ya que el usuario únicamente necesita activar la aplicación y las gafas para establecer la conexión con el agente. La interacción es directa, conversacional, sin necesidad de interfaces complejas o conocimientos técnicos avanzados (Lee et al., 2022). Además, presenta un alto grado de accesibilidad funcional, al ser compatible con diversos tipos de discapacidad visual, incluyendo patologías como la retinosis pigmentaria, la degeneración macular asociada a la edad o el glaucoma (Breeman, 2023; Nguyen et al., 2019).

Por otro lado, se identifican limitaciones importantes. El uso de *Aira* implica un coste económico considerable, ya que funciona bajo un modelo de suscripción mensual, además del coste asociado a la propia gafa. A ello se suma su dependencia de la conectividad a internet, la cual puede limitar su eficacia en entornos sin cobertura o con redes inestables (Lee et al., 2022). Asimismo, el sistema depende de la disponibilidad y formación del agente humano, por lo que no constituye una solución completamente autónoma (Sooyeon et al., 2022).



Figura 7. Aira Smart Glasses. Fuente: Adaptado de TechCrunch (2018), <https://techcrunch.com/2018/03/27/airas-new-smart-glasses-give-blind-users-a-guide-through-the-visual-world/>.

Derechos © TechCrunch. Adaptación propia.

4.1.2 Seeing VR

SeeingVR es una iniciativa desarrollada por *Microsoft Research* que busca hacer más accesibles las experiencias de realidad virtual a personas con baja visión. Este sistema está compuesto por un conjunto de 14 herramientas: nueve que funcionan como *plugins* independientes y cinco que requieren modificaciones en el código fuente, orientadas a mejorar la percepción visual mediante ampliaciones, realces de contorno, ajustes de contraste, narración de textos y seguimiento visual de elementos en el entorno virtual (Zhao et al., 2019; Hogle, 2019).

El objetivo central de *SeeingVR* es permitir que los usuarios con baja visión

interactúen con entornos inmersivos sin necesidad de asistencia externa, brindando soporte visual personalizado en tiempo real. Sus herramientas permiten, por ejemplo, ampliar de forma localizada objetos en la escena, cambiar colores para mejorar la visibilidad, o narrar la posición de menús y botones virtuales mediante audio espacial. Estas funcionalidades han sido validadas en estudios con usuarios reales, donde se observó una mejora significativa en el rendimiento de tareas como navegación, selección de objetos y lectura de texto (Zhao et al., 2019; Creed et al., 2023).

En cuanto a su facilidad de uso, *SeeingVR* ha sido diseñado para integrarse fácilmente en proyectos existentes mediante el motor *Unity*, sin necesidad de modificar en profundidad el código original. Esto lo convierte en una solución accesible tanto para desarrolladores como para usuarios finales con conocimientos básicos en tecnología VR (Hogle, 2019). No obstante, para sacar el máximo provecho de sus herramientas, se requiere cierta experiencia previa en el manejo de sistemas de realidad virtual, lo que podría suponer una barrera inicial para algunos perfiles (Creed et al., 2023).

Respecto al coste, *SeeingVR* tiene la ventaja de estar disponible como *software* de código abierto, lo que reduce los costes de adopción para desarrolladores y organizaciones. Sin embargo, el uso del sistema requiere *hardware* compatible (como gafas de realidad virtual, mandos hápticos y ordenadores con altas prestaciones gráficas), lo que puede representar una barrera económica significativa para personas con discapacidad visual (Chen et al., 2025; Hogle, 2019).

En términos de accesibilidad, *SeeingVR* ha demostrado ser eficaz en usuarios con diferentes niveles de baja visión. Las herramientas están diseñadas para ajustarse a necesidades individuales, como sensibilidad al contraste, campo visual reducido o problemas de percepción de profundidad (Zhao et al., 2019). A pesar de ello, su utilidad es limitada en casos de ceguera total, dado que muchas de sus funciones se basan en el procesamiento y modificación del estímulo visual. En estos casos, se recomienda el uso de soluciones alternativas como *EnVisionVR*, que emplean inteligencia artificial para generar descripciones auditivas completas del entorno virtual (Chen et al., 2025).

Por último, en relación con la compatibilidad con distintas patologías visuales, *SeeingVR* ha sido evaluado principalmente en personas con afecciones como degeneración macular, glaucoma y retinopatía diabética. Los resultados indican que la personalización de los filtros visuales y la capacidad de amplificar y narrar contenido son especialmente beneficiosas para estos perfiles (Zhao et al., 2019; Creed et al., 2023).

En la siguiente tabla podemos observar una comparación entre *Aira Smart Glasses* y *SeeingVR* (**Tabla 4**).

Tabla 4. Comparativa entre Aira Smart Glasses y SeeingVR.

Tecnología	Tipo	Facilidad de uso	Coste	Accesibilidad	Compatibilidad	Limitaciones
Aira Smart Glasses	RA	Muy alta; app + asistencia humana	Alto (suscripción + gafas)	Ceguera y baja visión	Con múltiples pérdidas visuales	Requiere conexión estable y coste elevado
SeeingVR	RV	Media; requiere instalación técnica	Bajo (<i>software</i> libre)	Baja visión	Útil para visión parcial	No útil en ceguera total

Fuente: Elaboración propia a partir del contenido del capítulo 4.1

4.2 Dispositivos de asistencia a la movilidad: Bastones Virtuales

Los bastones virtuales representan una evolución significativa de las ayudas tradicionales para la movilidad de personas con discapacidad visual. Estos dispositivos utilizan sensores ultrasónicos o infrarrojos para detectar obstáculos a distintas alturas y distancias, proporcionando retroalimentación háptica o auditiva al usuario. Su objetivo es suplir las limitaciones del bastón blanco convencional, especialmente en la detección de objetos por encima del nivel del suelo, así como extender el rango de percepción espacial del usuario (Maidenbaum et al., 2014).

Un ejemplo destacado es el *EyeCane*, desarrollado por Maidenbaum y colaboradores. Este dispositivo electrónico de bolsillo, ligero y portátil, traduce la distancia a obstáculos mediante vibraciones y sonidos que varían en intensidad según la cercanía del objeto. El sistema incorpora sensores infrarrojos dispuestos en distintas direcciones, lo que permite detectar tanto obstáculos frontales como de nivel bajo, con un alcance de hasta cinco metros. En estudios experimentales, tanto usuarios ciegos como videntes con antifaz lograron realizar tareas básicas de navegación y estimación de distancias con éxito tras menos de cinco minutos de entrenamiento (Maidenbaum et al., 2014).

Otro desarrollo reciente es el *Electronic Cane* (**Figura 8**) con interfaz háptica portátil, propuesto por Teixeira et al. (2023). Este sistema, acoplado a un bastón largo, consiste en bandas con motores vibratorios controladas por sensores ultrasónicos y un microcontrolador Arduino. Fue probado en entornos urbanos simulados, donde se demostró su eficacia para detectar escalones, arbustos y superficies irregulares. Esta solución destaca por su bajo coste, simplicidad de componentes y adaptabilidad a bastones ya existentes (Teixeira et al., 2023).

En cuanto a sus ventajas, los bastones virtuales permiten una mayor percepción del entorno en comparación con el bastón tradicional, particularmente

en cuanto a obstáculos a nivel de la cabeza, además, el aprendizaje suele ser rápido (Maidenbaum et al., 2014). Además, los dispositivos como el *Electronic Cane* permiten ser utilizados en combinación con bastones tradicionales, reduciendo el rechazo por parte de usuarios acostumbrados a tecnologías convencionales (Teixeira et al., 2023).

Sin embargo, también presentan limitaciones. En términos de facilidad de uso, aunque el entrenamiento inicial es breve, se requiere coordinación activa por parte del usuario para escanear el entorno manualmente (Maidenbaum et al., 2014). Respecto al coste, muchos de estos dispositivos tienen precios que oscilan entre los 579 y los 807 dólares, lo cual representa una barrera para usuarios en países con bajos ingresos (Teixeira et al., 2023). En cuanto a accesibilidad, si bien ofrecen mejoras claras frente a tecnologías tradicionales, aún existen desafíos en su distribución global, mantenimiento y disponibilidad de soporte técnico (Maidenbaum et al., 2014).

También se ha explorado el uso de bastones en entornos simulados mediante realidad virtual. En un estudio de Amedi et al. (2013), se probó una versión digital del *EyeCane* en entornos virtuales accesibles, donde los usuarios lograron transferir rápidamente el aprendizaje al mundo real, lo que pone de manifiesto su utilidad didáctica en la instrucción de personas ciegas mediante simuladores (Amedi et al., 2013).



Figura 8. *Electronic Cane.* Fuente: Adaptado de Teixeira et al., 2023

4.3 Ayudas basadas en Inteligencia Artificial

Las tecnologías basadas en Inteligencia Artificial (IA) han emergido como una solución clave para mejorar la autonomía y calidad de vida de las personas con ceguera o baja visión. La IA permite realizar tareas complejas como el reconocimiento de objetos, la descripción de escenas, la lectura de texto y la navegación en tiempo real mediante técnicas de visión por computador y procesamiento del lenguaje natural (Lavric et al., 2024).

Estas tecnologías están integradas en dispositivos portátiles, aplicaciones móviles y plataformas basadas en la nube, lo que facilita su adopción en el día a día. Además, han demostrado su utilidad en ámbitos como la movilidad independiente, el acceso a la educación, la interacción social y la inserción

laboral (Naayini et al., 2025).

La evolución de estas herramientas ha sido posible gracias a la integración de sensores, cámaras, redes neuronales y asistentes virtuales que brindan apoyo personalizado y adaptable a diferentes perfiles de usuarios, incluyendo quienes presentan ceguera congénita, adquirida o degenerativa (Mihalache et al., 2023). No obstante, su implementación aún enfrenta desafíos como el alto coste de algunos dispositivos, la necesidad de conexión permanente a internet y las limitaciones para funcionar en ambientes con baja luminosidad o ruido ambiental elevado (Naayini et al., 2025; Lavric et al., 2024).

En este apartado se analizarán tres de las soluciones basadas en inteligencia artificial más representativas y extendidas en la actualidad: *Be My Eyes*, *Seeing AI* y *OrCam MyEye Pro*.

4.3.1 *Be My Eyes (Be My AI)*

Be My Eyes es una plataforma gratuita de asistencia visual remota que conecta a personas ciegas o con baja visión con voluntarios videntes mediante videollamadas en vivo a través de una aplicación móvil. Su funcionamiento se basa en que el usuario activa la cámara de su teléfono, permitiendo que el voluntario pueda describir verbalmente lo que aparece en pantalla, asistiendo en tareas cotidianas como leer etiquetas, identificar colores, comprobar fechas de caducidad o localizar objetos (Ávila et al., 2018; Be My Eyes, n.d.). Desde su lanzamiento, la aplicación ha expandido su impacto global con millones de voluntarios en más de 180 idiomas, lo que refleja su accesibilidad y escalabilidad (Be My Eyes, n.d.).

En 2023, la plataforma introdujo una función innovadora denominada *Be My AI*, esta es una versión automatizada que elimina la dependencia de voluntarios humanos. Funciona a través de inteligencia artificial multimodal mediante el modelo GPT-4V de *OpenAI*. Esta herramienta permite a los usuarios ciegos enviar imágenes y recibir descripciones generadas automáticamente en lenguaje natural. El sistema puede describir escenas, leer texto, interpretar expresiones, ayudar en decisiones cotidianas y proporcionar orientación básica sobre objetos o espacios (Be My Eyes, n.d.; Xie et al., 2025).

Entre sus principales ventajas destaca su alta facilidad de uso. La aplicación presenta una interfaz sencilla y accesible, compatible con lectores de pantalla como *TalkBack* y *VoiceOver*. Según un estudio cualitativo realizado por Ávila et al. (2018), los usuarios valoran especialmente la rapidez con la que acceden al servicio, la amabilidad de los voluntarios y la utilidad para resolver tareas que de otro modo requerirían asistencia presencial. Además, en su modalidad basada en IA, el tiempo de respuesta es inmediato, sin depender de la disponibilidad de voluntarios, lo que incrementa su eficiencia (Xie et al., 2025).

En cuanto al coste, tanto el servicio con voluntarios como el acceso a *Be My AI* son completamente gratuitos para los usuarios, lo que elimina una barrera

clave en muchas otras tecnologías de asistencia. Esta gratuidad, junto con su amplio soporte multilingüe y disponibilidad en iOS y Android, hacen de *Be My Eyes* una herramienta de accesibilidad universal (Be My Eyes, n.d.).

Respecto a la compatibilidad con patologías visuales, el estudio de Xie et al. (2025) destaca que tanto usuarios con ceguera total como con baja visión pueden beneficiarse de la herramienta, incluyendo quienes tienen enfermedades como distrofia de conos, retinosis pigmentaria o degeneración macular. En la reseña publicada por la *Perkins School for the Blind*, se confirma su utilidad en escenarios cotidianos y su facilidad de adopción por usuarios de distintos perfiles, aunque también se advierte que la calidad de la ayuda puede depender de la cámara del dispositivo y del entorno de uso (Perkins School for the Blind, n.d.).

Entre sus limitaciones, en el caso del modelo basado en IA, se han reportado errores de interpretación visual (“alucinaciones”), pérdida de contexto o necesidad de múltiples instrucciones para tareas simples. Además, el sistema de IA solo opera sobre imágenes estáticas, lo que reduce su utilidad para navegación o seguimiento de objetos en movimiento (Xie et al., 2025). En el uso tradicional con voluntarios, los usuarios también han señalado desventajas como la variabilidad en la calidad de la ayuda recibida, dificultades técnicas relacionadas con la conexión de red, y demoras ocasionales según el idioma o la zona horaria (Ávila et al., 2018; Perkins School for the Blind, n.d.).

4.3.2 Seeing AI

Seeing AI es una aplicación móvil desarrollada por *Microsoft* con el objetivo de asistir a personas con discapacidad visual en tareas cotidianas mediante el uso de inteligencia artificial. La app utiliza la cámara del dispositivo móvil para interpretar elementos del entorno y ofrecer descripciones auditivas generadas por IA. Entre sus funcionalidades se incluyen la lectura de texto impreso y manuscrito, identificación de productos mediante códigos de barras, detección de billetes, reconocimiento facial, colores, y descripción general de escenas (Gonzalez-Garcia et al., 2023; Tsouktakou et al., 2024). Su evolución reciente incluye compatibilidad con Android y nuevas funciones generativas basadas en modelos multimodales como GPT-4, ampliando su versatilidad y accesibilidad (Microsoft, 2023).

Una de sus principales ventajas es la elevada facilidad de uso. La interfaz es accesible, clara y compatible con lectores de pantalla, permitiendo su uso incluso a personas con escasa experiencia tecnológica. Según Gonzalez-Garcia et al. (2023), *Seeing AI* obtuvo una de las puntuaciones más altas en la *System Usability Scale (SUS)* frente a otras apps como *Envision AI* o *Supersense*. Por su parte, el análisis técnico de Rauf et al. (2022) destaca la utilidad de su organización por "canales", que permite acceder de forma directa a funciones específicas sin necesidad de navegación compleja. En línea con estas

observaciones, *Perkins School for the Blind* (s.f.) refuerza que usuarios reales encuentran intuitiva la app y valoran positivamente su estabilidad y rapidez.

En relación al coste, *Seeing AI* se presenta como una herramienta totalmente gratuita, eliminando barreras económicas comunes en otras soluciones similares. Su disponibilidad tanto en iOS como en Android, así como en varios idiomas, incrementa su accesibilidad global (Microsoft, 2023). El informe de Conexiant (2025) concluye que *Seeing AI* fue la aplicación con mejor puntuación global en un estudio con usuarios con baja visión, gracias a su diseño accesible y su amplia cobertura funcional.

Respecto a su compatibilidad con distintas patologías visuales, *Seeing AI* ha demostrado ser útil para usuarios con ceguera total y baja visión, incluyendo condiciones como degeneración macular, retinopatía diabética o glaucoma (Gonzalez-Garcia et al., 2023). Además, Tsouktakou et al. (2024) destacan su impacto más allá de lo técnico, señalando que este tipo de herramientas también fomentan la autonomía personal, la inclusión social y la autoestima de los usuarios, especialmente en contextos educativos.

No obstante, también presenta algunas limitaciones. *Seeing AI* puede perder precisión en condiciones de baja iluminación, cuando el texto está curvado o mal encuadrado, o si el dispositivo no se mantiene correctamente orientado (Rauf et al., 2022; Perkins School for the Blind, s.f.). Además, aunque cubre múltiples tareas visuales, no reemplaza dispositivos específicos para movilidad, ni tampoco la asistencia humana en situaciones más complejas (Gonzalez-Garcia et al., 2023).

4.3.3 OrCam MyEye Pro

OrCam MyEye Pro es un dispositivo portátil de asistencia visual que integra inteligencia artificial en una cámara compacta acoplada a unas gafas (**Figura 9**). Su principal objetivo es aumentar la autonomía de personas con discapacidad visual mediante funcionalidades como la lectura de texto, reconocimiento facial, identificación de productos y colores, así como códigos de barras y billetes, todo ello sin necesidad de conexión a internet (OrCam Technologies, 2023). Según la *American Foundation for the Blind* (AFB, 2024), el dispositivo destaca por su precisión y portabilidad, ofreciendo una experiencia fluida y privada gracias a su diseño compacto y activación por voz o gestos.

En cuanto a la facilidad de uso, diversos estudios destacan la buena valoración de *OrCam MyEye Pro* por parte de los usuarios. Un ensayo clínico llevado a cabo por Nguyen et al. (2021) mostró una mejora significativa en la calidad de vida relacionada con la visión, así como en la funcionalidad y satisfacción personal de los participantes tras el uso del dispositivo. Los resultados obtenidos a través de escalas como *QUEST 2.0* y *PIADS* indicaron altos niveles de aceptación, especialmente en tareas como lectura, interacción social y localización de objetos.

Sin embargo, uno de los principales retos es el coste. El precio estimado del dispositivo supera los \$2.000 USD, lo que representa una barrera importante para muchas personas con discapacidad visual, especialmente en países con menor poder adquisitivo (Conexiant, 2025). A pesar de su eficacia, esta limitación económica es una causa frecuente de baja adopción, lo que pone de manifiesto la necesidad de apoyo institucional para garantizar el acceso universal.

En términos de accesibilidad, *OrCam MyEye Pro* ofrece ventajas claras frente a otras soluciones. Funciona de manera completamente autónoma, sin depender de conexión a internet, lo que mejora la privacidad del usuario y facilita su uso en contextos rurales o con baja conectividad (Naayini et al., 2025). Además, su compatibilidad con múltiples idiomas y entornos lo convierte en una herramienta versátil en distintos contextos culturales y sociales.

Respecto a la compatibilidad con diferentes patologías visuales, los estudios sugieren que es eficaz tanto en casos de ceguera total como de baja visión. Nguyen et al. (2021) demostraron su utilidad en pacientes con distrofias hereditarias como la retinosis pigmentaria, quienes experimentaron mejoras notables en actividades de la vida diaria. La capacidad de *OrCam* para proporcionar información en tiempo real permite a los usuarios desenvolverse con mayor independencia, lo que refuerza su aplicabilidad clínica en un amplio espectro de condiciones oftalmológicas.



Figura 9. OrCam MyEye Pro. Fuente: Adaptado de OrCam (s.f.), <https://www.orcam.com/en-us/orcam-myeye-3-pro>.

Derechos © OrCam Technologies Ltd. Adaptación propia.

En la **Tabla 5** podemos observar una comparativa entre las tres tecnologías analizadas: *Be My Eyes*, *Seeing AI* y *OrCam MyEye Pro*.

Tabla 5. Comparativa entre *Be My Eyes*, *Seeing AI* y *OrCam MyEye Pro*.

Tecnología	Descripción general	Facilidad de uso	Coste	Accesibilidad
<i>Be My Eyes</i>	App que conecta a usuarios con discapacidad visual con voluntarios mediante videollamada.	Muy alta, interfaz guiada por voz y simple.	Gratuita.	Disponible globalmente y en varios idiomas.
<i>Seeing AI</i>	App que describe el entorno y reconoce objetos mediante la cámara del móvil.	Alta, uso intuitivo por canales funcionales.	Gratuita.	Disponible en iOS y Android.
<i>OrCam MyEye Pro</i>	Dispositivo con IA que se acopla a gafas para leer texto y reconocer elementos.	Alta, con control por voz y gestos.	Elevado (>\$2.000 USD).	Funciona sin internet, disponible en varios idiomas.

Fuente: Elaboración propia a partir del contenido del capítulo 4.3

4.4 Ayudas basadas en dispositivos Wearables

En el capítulo anterior se abordó la evolución técnica de los dispositivos portátiles y su impacto en la asistencia a personas con discapacidad visual. Se analizaron tecnologías hápticas, dispositivos de sustitución sensorial y *smartphones* desde una perspectiva de desarrollo e innovación. Sin embargo, en este apartado se profundiza en ejemplos actuales y representativos de soluciones *wearables* que se encuentran ya disponibles en el mercado o en fase avanzada de validación. A continuación, se presenta una revisión de dos tecnologías concretas: *Envision Glasses* y *Biped.ai*.

4.4.1 *Envision Glasses*

Las *Envision Glasses* representan un avance significativo dentro de las tecnologías portátiles para personas con discapacidad visual (**Figura 10**). Este dispositivo *wearable*, basado en inteligencia artificial, se integra con *Google Glass Enterprise Edition 2* y combina capacidades de visión artificial, procesamiento en la nube y retroalimentación auditiva para ofrecer asistencia en

tiempo real a personas ciegas o con baja visión (Let's Envision, 2024).

A nivel funcional, las *Envision Glasses* permiten al usuario leer texto impreso y manuscrito en voz alta, reconocer rostros conocidos, describir escenas, identificar objetos y escanear códigos de barras o productos, incluso en múltiples idiomas. El dispositivo está diseñado con controles táctiles intuitivos, integración con asistentes como ChatGPT para consultas contextuales, y la opción de conectarse con contactos de confianza mediante videollamadas en vivo para recibir apoyo remoto (Conexiant, 2025; Top5Accessibility, 2024).

Desde una perspectiva técnica, Aadya et al. (2025) describen este tipo de soluciones como dispositivos que combinan módulos de cámara de alta resolución (8 MP), reconocimiento de patrones, procesamiento de lenguaje natural y salida de audio. El estudio subraya la importancia de optimizar la duración de la batería, reducir la latencia en la conversión de texto a voz y mejorar la estabilidad en el procesamiento de imagen en movimiento. Asimismo, el modelo evaluado por los autores incluye sensores de orientación y conectividad con redes Wi-Fi y Bluetooth, características también presentes en las *Envision Glasses*.

En cuanto a su eficacia práctica, un estudio de Varshney et al. (2025) evaluó la usabilidad de gafas inteligentes similares en un grupo de 26 personas con ceguera total o severa. Aunque no se identificó específicamente a *Envision Glasses*, las conclusiones son extrapolables al considerar su funcionalidad comparable. Los resultados mostraron que el 88,5 % de los participantes calificaron el dispositivo como satisfactorio o excelente en tareas como el reconocimiento de rostros, la lectura y la interacción social. Sin embargo, se observaron limitaciones en entornos concurridos, especialmente en funciones de detección de obstáculos y reconocimiento de billetes, lo cual sugiere margen de mejora.

En cuanto a sus ventajas, el dispositivo destaca por su facilidad de uso, su diseño ligero y estético, y la posibilidad de uso en múltiples contextos. Además, su conectividad Wi-Fi y Bluetooth permite actualizaciones constantes (TXsenseAbilities, 2024). La retroalimentación en audio permite que sea accesible incluso para personas con ceguera total, y las opciones de idiomas y personalización amplían su aplicabilidad internacional (Let's Envision, 2024).

No obstante, el coste sigue siendo una barrera significativa para una amplia adopción, situándose por encima de los 3.000 €, lo que limita su acceso a personas con recursos económicos reducidos o sin apoyo institucional (Top5Accessibility, 2024). Además, su compatibilidad con ciertas patologías visuales, como la retinosis pigmentaria o la neuropatía óptica, puede variar en función del grado de percepción residual y las habilidades tecnológicas del usuario, por lo que se requiere entrenamiento previo y un acompañamiento adecuado (Varshney et al., 2025; Aadya et al., 2025).



Figura 10. Envision Glasses. Fuente: Adaptado de Envision (s.f.), <https://shop.letsenvision.com/es/products/glasses-home>.
Derechos © Envision. Adaptación propia.

4.4.2 Biped.ai (NOA)

Biped.ai, también conocido como *NOA*, es un dispositivo portátil de asistencia basado en inteligencia artificial, diseñado para mejorar la movilidad y seguridad de personas con discapacidad visual. Se trata de un arnés inteligente, liviano (menos de 1 kg), que se coloca sobre los hombros y que integra cámaras 3D, sensores de profundidad, GPS y un sistema de inteligencia artificial predictiva (**Figura 11**). Su finalidad es detectar y anticipar obstáculos en el entorno urbano, proporcionando alertas auditivas mediante sonido espacial por conducción ósea (Biped.ai, 2024a; Ophthalmology Times, 2022).

Inspirado en la tecnología de vehículos autónomos, *NOA* analiza el entorno mediante visión computacional en 170 grados y filtra los obstáculos irrelevantes, notificando únicamente aquellos que representan un riesgo real de colisión, como bicicletas, peatones, escalones o ramas a la altura de la cabeza (Honda Research Institute, 2024). Esta funcionalidad minimiza la sobrecarga cognitiva del usuario y optimiza la navegación en tiempo real. El sistema utiliza inteligencia artificial para anticipar trayectorias y generar alertas de hasta 10 eventos por segundo, todo ello a través de sonidos direccionales personalizables que no interfieren con la audición ambiental (Biped.ai, 2024b).

Desde el punto de vista de la usabilidad, el manual técnico oficial destaca que el entrenamiento inicial del dispositivo requiere apenas entre 30 y 60 minutos, y su interfaz táctil mediante botones es intuitiva. El dispositivo cuenta con una autonomía de hasta seis horas, es compatible con bastones y perros guía, y permite una navegación manos libres (Biped.ai, 2024a). Una reseña práctica publicada en AppleVis (2024) por un usuario ciego resalta la comodidad del arnés, su facilidad de ajuste, y su eficacia detectando obstáculos tanto estáticos como dinámicos.

Un reciente estudio de Pittet y Fabien (2025) comparó el rendimiento de *NOA* con el del dispositivo háptico *BuzzClip*. Los resultados indicaron que *NOA* generaba un número significativamente menor de señales sensoriales, gracias a su capacidad para filtrar la información irrelevante. Esto se tradujo en una menor carga cognitiva, mejor interpretación del entorno y mayor percepción de

seguridad durante la movilidad asistida.

Respecto a la accesibilidad, el sistema está adaptado para usuarios con ceguera total o baja visión, y se ha validado en contextos urbanos de alta complejidad. Gracias a su diseño modular, el sistema puede emplearse sin necesidad de un *smartphone*, lo que resulta beneficioso para personas mayores o con bajo nivel de alfabetización digital (Top5Accessibility, 2024). No obstante, su dependencia del canal auditivo lo hace menos recomendable para usuarios con hipoacusia o con dificultades para la espacialización sonora.

En cuanto a su disponibilidad, *Biped.ai* se comercializa mediante una suscripción mensual o compra directa, con precios que oscilan entre los 3.000 y 3.500 euros, incluyendo asistencia técnica y actualizaciones de software (Biped.ai, 2024b). Esta inversión lo sitúa como una tecnología de gama alta dentro del panorama de ayudas portátiles, y su adopción está principalmente limitada a contextos institucionales o usuarios con apoyo económico específico (Conexiant, 2025).



Figura 11. Arnés inteligente (*Biped.ai*). Fuente: Adaptado de InfoTecnoVision (s.f.), <https://www.infotecnovision.com/noa-dispositivo-impulsado-por-inteligencia-artificial-para-asistencia-en-la-movilidad-desarrollado-por-la-compania-suiza-biped-ai/>. Derechos © InfoTecnoVision. Adaptación propia.

A continuación, en la **Tabla 6**, se comparan ambas tecnologías descritas.

Tabla 6. Comparativa entre *Envision Glasses* y *Biped.ai* (NOA).

Tecnología	Descripción general	Facilidad de uso	Coste	Accesibilidad
<i>Envision Glasses</i>	Gafas con IA que leen textos, reconocen objetos y describen escenas.	Media-Alta: precisa adaptación a gestos y comandos.	Alto (~3.000-4.000 €).	Alta para baja visión o ceguera; personalizable.
<i>Biped.ai</i> (NOA)	Arnés inteligente que anticipa obstáculos y guía mediante sonido espacial.	Media: requiere aprendizaje auditivo espacial.	Alto (~3.000-3.500 €, con suscripción).	Alta, menos ideal para usuarios con hipoacusia.

Fuente: Elaboración propia a partir del contenido del capítulo 4.4

4.5 Aplicaciones móviles accesibles

El desarrollo de aplicaciones móviles ha supuesto un cambio radical en la forma en que las personas con discapacidad visual interactúan con su entorno, acceden a la información y ejercen su autonomía en tareas cotidianas. Gracias a los avances en tecnologías integradas en *smartphones* —como cámaras, sensores, algoritmos de visión artificial y sistemas de reconocimiento de voz— se han creado soluciones cada vez más eficaces, personalizadas y portátiles para este colectivo (Savani & Hettige, 2024).

Las aplicaciones móviles accesibles se han centrado principalmente en áreas clave como la navegación, el reconocimiento de objetos, la lectura de textos impresos y la interacción social. Estos desarrollos buscan no solo suplir las limitaciones de la visión, sino también adaptarse a los distintos niveles de pérdida visual, tipos de tareas y preferencias del usuario. De acuerdo con Ali et al. (2024), el uso de interfaces táctiles simplificadas, retroalimentación auditiva y control por voz ha permitido que muchas de estas aplicaciones resulten eficaces tanto para personas ciegas como con baja visión, mejorando significativamente su independencia funcional.

Una revisión reciente resalta la importancia de diseñar estas aplicaciones bajo un enfoque centrado en la usabilidad, la accesibilidad y la eficiencia, priorizando dimensiones como la facilidad de uso, la comprensión de las interfaces y la reducción de errores de interacción (Savani & Hettige, 2024).

En las secciones siguientes se analizarán tres aplicaciones móviles

representativas que han demostrado un impacto positivo en este ámbito: *Voice Dream Reader*, *Lazarillo App* y *Supersense*.

4.5.1 Voice Dream Reader

Voice Dream Reader es una aplicación móvil de lectura asistida diseñada para personas con discapacidad visual, baja visión o dificultades lectoras, como la dislexia. Esta app permite convertir texto digital en voz mediante tecnología *text-to-speech* (TTS), integrando funcionalidades de lectura auditiva sincronizada, escaneo óptico de caracteres (OCR), y una amplia personalización de la interfaz (American Foundation for the Blind [AFB], 2020; Voice Dream, 2024).

Una de las características más destacadas de *Voice Dream Reader* es su capacidad para leer múltiples formatos, incluyendo PDF, Word, ePub, archivos de texto plano, páginas web, y documentos escaneados mediante la cámara del dispositivo. La app también sincroniza el texto leído con resaltado visual, lo cual beneficia tanto a usuarios con baja visión como a aquellos que requieren seguimiento visual del contenido (Voice Dream, 2024). Además, permite personalizar el tipo de voz, velocidad de lectura, tamaño de fuente, contraste de colores y espaciado, lo cual contribuye a una experiencia flexible y adaptada a las distintas patologías visuales (Perkins School for the Blind, 2023).

Respecto a la facilidad de uso, los usuarios destacan su interfaz intuitiva y las múltiples opciones de navegación por capítulos, frases o palabras, lo que favorece un control preciso del contenido. La incorporación de gestos simples y compatibilidad con lectores de pantalla como *VoiceOver* y *TalkBack* hacen de esta aplicación una herramienta accesible tanto para usuarios con ceguera total como con baja visión (AFB, 2020; IxD@Pratt, 2024).

En cuanto al coste, la aplicación funcionó inicialmente bajo un modelo de pago único (alrededor de 20–30 €), pero en años recientes ha migrado a un sistema de suscripción anual, lo que ha generado cierto debate dentro de la comunidad usuaria. La versión de pago incluye acceso a voces *premium*, almacenamiento en la nube, y funciones avanzadas como escaneo OCR ilimitado (Perkins School for the Blind, 2023).

Desde el punto de vista de la accesibilidad, *Voice Dream Reader* ha sido valorada como una de las apps más completas del mercado, no sólo por su compatibilidad técnica con múltiples plataformas y lectores de pantalla, sino por su diseño centrado en el usuario. Es especialmente útil para personas con ceguera total, baja visión, dificultades de lectura o trastornos del procesamiento visual (IXD@Pratt, 2024). Asimismo, la opción de usar voces *offline* y personalizables permite una experiencia consistente incluso en contextos sin conexión a internet.

Entre las limitaciones, se señala la curva de aprendizaje inicial para usuarios poco familiarizados con la tecnología móvil, y la necesidad de una

suscripción para acceder a todas las funciones. Sin embargo, estos aspectos son compensados por la fiabilidad de la aplicación y su continua actualización en función del *feedback* de los usuarios (AFB, 2020).

4.5.2 Lazarillo App

Lazarillo App es una aplicación móvil diseñada para personas con discapacidad visual que proporciona orientación georreferenciada mediante instrucciones auditivas basadas en la localización en tiempo real. Desarrollada inicialmente en Chile como un proyecto de tesis, esta app ha evolucionado hasta convertirse en una plataforma con más de 160.000 usuarios en más de 39 países y disponible en 22 idiomas (Espinoza, 2020).

La aplicación emplea el GPS del dispositivo móvil y se encuentra disponible para los sistemas operativos iOS y Android. Ofrece al usuario información detallada sobre su entorno, incluyendo nombres de calles, intersecciones, establecimientos comerciales, paradas de autobús y otros puntos de interés. Además, se ha integrado con instituciones públicas y privadas para facilitar el acceso universal a espacios físicos mediante rutas accesibles y servicios adicionales, como interpretación en lengua de señas bajo demanda (Espinoza, 2020; Perkins School for the Blind, 2023).

Desde el punto de vista de la accesibilidad, *Lazarillo* ha sido valorada positivamente en cuanto a la calidad de su interfaz sonora, su gratuidad y su adaptabilidad a diferentes idiomas. No obstante, un estudio experimental realizado en un campus universitario en Brasil evidenció algunas limitaciones significativas. Por ejemplo, se identificaron errores en el inicio de las rutas, mensajes auditivos confusos (mezcla de idiomas), y problemas de precisión en la localización GPS, lo cual dificultaba completar ciertos trayectos (Delboni Lomba et al., 2019). Además, se destacó que la eficacia de la app depende en gran medida de las condiciones estructurales del entorno, como la existencia de rampas accesibles.

Otro aspecto resaltado por Microsoft (2021) es el valor que aporta *Lazarillo* como herramienta colaborativa, ya que permite a las instituciones adaptar contenidos accesibles, algo crucial, por ejemplo, durante la pandemia del COVID-19, para garantizar el acceso a la información de salud pública.

En cuanto a su facilidad de uso, la app destaca por su configuración sencilla y opciones personalizables de notificaciones auditivas. Sin embargo, estudios como el de Delboni Lomba et al. (2019) también recomiendan mejoras en la precisión de los comandos de navegación y una mayor estandarización en los formatos de voz.

En términos de coste, *Lazarillo* es completamente gratuita, lo que la hace accesible a una amplia población, incluyendo usuarios en contextos con recursos limitados. Además, su compatibilidad con múltiples idiomas y sistemas operativos amplía su alcance y aplicabilidad global (Espinoza, 2020).

4.5.3 Supersense

Supersense es una aplicación móvil desarrollada con inteligencia artificial que permite a personas ciegas o con baja visión leer textos, reconocer objetos, explorar espacios y escanear documentos a través del uso de la cámara del *smartphone* (Bhagat et al., 2023). Su diseño prioriza la simplicidad de uso, con una interfaz optimizada para lectores de pantalla y comandos táctiles intuitivos, lo que la convierte en una herramienta muy accesible para usuarios con escasa experiencia digital (AFB, 2024; Supersense, 2024).

La aplicación ofrece funcionalidades como lectura instantánea de texto (OCR), detección de billetes, identificación de objetos y códigos de barras, y escaneo inteligente de documentos con orientación guiada por voz. Según un análisis realizado por PowerMapper (2023), *Supersense* se destaca por su navegación inclusiva, adaptada a las principales directrices de accesibilidad móvil, y por integrar de forma eficaz retroalimentación sonora para cada acción realizada.

En el estudio de Senjam et al. (2021), *Supersense* fue mencionada entre las aplicaciones móviles más valoradas por personas con discapacidad visual, particularmente por su capacidad de sustituir dispositivos tradicionales como lectores ópticos o detectores de objetos. Su diseño se ajusta a los principios del diseño universal, lo que reduce el estigma asociado a otras ayudas más aparatosas.

No obstante, algunos usuarios reportan limitaciones, especialmente en la detección de texto manuscrito, objetos en movimiento o en condiciones de baja iluminación (Supersense, 2024). Asimismo, al requerir conectividad y cámara funcional, el rendimiento de la aplicación puede depender significativamente de las especificaciones técnicas del dispositivo móvil empleado. En cuanto a su coste, si bien ofrece funciones básicas gratuitas, las características avanzadas —como el almacenamiento ilimitado de documentos— están disponibles mediante una suscripción *premium* (AFB, 2024).

Respecto a su compatibilidad con distintas patologías visuales, *Supersense* se adapta especialmente bien a usuarios con ceguera total o visión residual muy limitada, debido a su fuerte componente auditivo y guía verbal paso a paso. No obstante, para usuarios con baja visión funcional, podrían ser necesarias soluciones que incorporen también retroalimentación visual ampliada, como contraste personalizado o zoom dinámico, características ausentes en esta aplicación.

En la siguiente tabla (**Tabla 7**) se realiza una comparativa entre las tres aplicaciones móviles accesibles.

Tabla 7. Comparativa entre *Lazarillo App*, *Supersense* y *Voice Dream Reader*.

Aplicación	Descripción general	Facilidad de uso	Coste	Accesibilidad
Lazarillo App	App de navegación GPS guiada por voz.	Interfaz intuitiva, compatible con lectores de pantalla.	Gratuita para usuarios. Servicios premium para instituciones.	Compatible con <i>VoiceOver</i> y <i>TalkBack</i> . Soporta múltiples idiomas.
Supersense	App de reconocimiento de texto, objetos y billetes con IA.	Alta usabilidad. Guía automática para apuntar cámara.	Funciones básicas gratis.	Accesible con lectores de pantalla. Funciona también <i>offline</i> .
Voice Dream Reader	App de lectura asistida de textos mediante TTS y OCR.	Interfaz personalizable	Modelo de suscripción anual.	Amplia personalización visual y auditiva. Alta compatibilidad.

Fuente: Elaboración propia a partir del contenido del capítulo 4.5

4.6 Tecnologías emergentes

El avance acelerado de la ciencia biomédica y la ingeniería neurovisual ha propiciado el surgimiento de un conjunto de tecnologías emergentes con potencial transformador en el campo de la discapacidad visual. A diferencia de las ayudas tradicionales centradas en la compensación funcional mediante sustitución sensorial o inteligencia artificial, estas nuevas aproximaciones buscan restaurar parcial o completamente la visión, ya sea mediante intervenciones genéticas, bioelectrónicas o neuroprostéticas.

En este panorama emergente, destacan especialmente tres líneas de innovación que, por su grado de madurez tecnológica, respaldo clínico y proyección futura, han captado una atención significativa tanto en la literatura científica como en la práctica clínica. Se trata, por un lado, de la terapia génica, aplicada con éxito en casos de distrofias hereditarias de retina como la Amaurosis Congénita de Leber, siendo la primera intervención capaz de modificar el curso natural de la enfermedad a nivel celular (Nguyen et al., 2024; Sánchez-Tocino et al., 2024). En segundo lugar, el sistema *PRIMA*, una microprótesis subretiniana fotovoltaica que restaura parcialmente la visión central en pacientes con degeneración macular atrófica mediante estimulación selectiva de la retina interna (Palanker et al., 2023; Bhuckory et al., 2025). Y, por último, el sistema *Gennaris*, una prótesis visual cortical capaz de generar

fosfenos mediante estimulación directa de la corteza visual primaria, convirtiéndose en una alternativa especialmente prometedora para personas con ceguera total irreversible (Wong et al., 2023; He et al., 2024).

Es importante destacar que, además de estas tres tecnologías, existen otras líneas de investigación emergentes con aplicaciones potenciales en el ámbito visual —como la optogenética, la estimulación magnética transcraneal o las nanopartículas fotosensibles—. No obstante, este apartado se centrará exclusivamente en el análisis de las tres soluciones mencionadas, por tratarse de aquellas con mayor desarrollo clínico y evidencia disponible hasta la fecha.

Estas tecnologías, aún en fases de validación clínica o preclínica, reflejan el cambio de paradigma en la atención oftalmológica: de la asistencia adaptativa al intento de restauración neurosensorial. No obstante, su desarrollo también enfrenta retos considerables en términos de accesibilidad, coste, seguridad quirúrgica y criterios de elegibilidad, factores que condicionarán su adopción futura a gran escala. En las siguientes secciones se analizan en detalle estas tres tecnologías emergentes, con énfasis en su descripción técnica, beneficios clínicos y limitaciones actuales.

4.6.1 Terapia génica

La terapia génica se ha consolidado como una de las tecnologías emergentes más prometedoras para el tratamiento de distrofias hereditarias de retina (IRD, por sus siglas en inglés), especialmente en pacientes con mutaciones bialélicas en el gen *RPE65* (codificador de una enzima clave en la regeneración del pigmento visual de los fotorreceptores). Estas condiciones, como la Amaurosis Congénita de Leber (LCA) y ciertos subtipos de Retinosis Pigmentaria, conllevan una degeneración progresiva de los fotorreceptores y del epitelio pigmentario retinal (EPR), desembocando en ceguera total a edades tempranas (Nguyen et al., 2024; Sánchez-Tocino et al., 2024).

Uno de los mayores hitos en este ámbito es *Voretigene Neparvovec* (VN), una terapia génica aprobada por la FDA (2017) y EMA (2018), que utiliza un vector adeno-asociado (AAV2) para transportar una copia funcional del gen *RPE65* directamente a las células del EPR. Su administración se realiza mediante una inyección subretiniana tras una vitrectomía, permitiendo la restauración parcial del ciclo visual y la producción de una enzima funcional (Pang et al., 2023; Sánchez-Tocino et al., 2024).

Los ensayos clínicos y estudios observacionales, como el *PERCEIVE Study*, han evidenciado mejoras funcionales sostenidas hasta dos años después del tratamiento, especialmente en pruebas como la sensibilidad a la luz de campo completo (FST) y la movilidad en condiciones de baja luminancia. Aunque la agudeza visual no ha mostrado mejorías significativas en todos los casos, sí se han registrado avances importantes en la calidad de vida y desempeño funcional del paciente (Nguyen et al., 2024; Fischer et al., 2024).

No obstante, la terapia no está exenta de limitaciones. El principal criterio de elegibilidad es la presencia de células retinianas viables, por lo que la terapia es más efectiva en estadios iniciales o moderados de la enfermedad, especialmente en pacientes pediátricos que conservan más tejido funcional. Tampoco existe un consenso clínico unificado sobre el umbral exacto de degeneración retiniana que contraindique el tratamiento (Nguyen et al., 2024). Por otro lado, el coste de VN supera los 850.000 dólares por tratamiento bilateral, lo que plantea importantes dilemas éticos y económicos en su implementación a gran escala (Pang et al., 2023).

Desde el punto de vista de la seguridad, el perfil es generalmente aceptable, aunque en estudios como el *PERCEIVE* se han reportado eventos adversos oculares relacionados con el procedimiento, como inflamación intraocular o atrofia coriorretiniana en un número reducido de casos (Fischer et al., 2024).

4.6.2 Prótesis visuales avanzadas: PRIMA

La creciente sofisticación de las prótesis visuales ha llevado al desarrollo de tecnologías más precisas, biocompatibles y centradas en la experiencia del usuario. Uno de los dispositivos más prometedores en este campo es el sistema *PRIMA* (**Figura 12**), una prótesis subretiniana fotovoltaica inalámbrica diseñada para restaurar parcialmente la visión central en pacientes con atrofia geográfica derivada de la DMAE (Palanker et al., 2023). A diferencia de modelos anteriores como *Argus II*, *PRIMA* apuesta por una arquitectura miniaturizada y sin componentes externos implantados, lo que representa una mejora significativa en términos de comodidad, durabilidad y biocompatibilidad.

El sistema se compone de un microchip de 2×2 mm y 30 µm de grosor, que integra 378 píxeles fotovoltaicos de 100 µm cada uno. Este implante se coloca debajo de la retina central y convierte luz infrarroja proyectada desde unas gafas externas en impulsos eléctricos, que estimulan las células bipolares internas de la retina (Palanker et al., 2023). El sistema incluye además una cámara frontal y un procesador de imagen, cuya salida visual es proyectada mediante un microproyector de infrarrojos incorporado en las gafas (Bhuckory et al., 2025). Esta arquitectura permite preservar la visión periférica natural del paciente y combinarla con la visión central artificial, lo que representa una integración funcional muy ventajosa.

Entre las principales ventajas de *PRIMA*, destaca su capacidad para mejorar la agudeza visual central sin comprometer otras zonas de la retina. En ensayos clínicos con pacientes con DMAE atrófica, se ha observado una mejora significativa de hasta 32 letras ETDRS en agudeza visual, sin efectos adversos sobre la retina periférica (Palanker et al., 2023). Además, se trata de un sistema inalámbrico, lo que reduce el riesgo de infecciones o complicaciones quirúrgicas comunes en otros modelos implantables. También resulta destacable su

capacidad de actualización *in situ*: estudios recientes han demostrado la viabilidad de reemplazar implantes de primera generación por modelos más avanzados con píxeles de 22 μm , lo que mejora sustancialmente la resolución visual obtenida (Bhuckory et al., 2025).

No obstante, este sistema presenta también importantes limitaciones. La visión artificial obtenida es monocromática y limitada en contraste, lo que dificulta tareas como el reconocimiento de rostros o la lectura de texto sin ayudas adicionales (Park et al., 2025). Por otro lado, la cirugía necesaria para implantar el chip subretiniano requiere equipamiento especializado y formación quirúrgica avanzada, lo que limita actualmente su disponibilidad a centros altamente cualificados (Palanker et al., 2023). Además, su coste estimado supera los 100.000 euros, lo que plantea un desafío económico importante para su implantación clínica masiva (Palanker et al., 2024).

En términos de compatibilidad, *PRIMA* está especialmente indicado para pacientes con degeneración macular atrófica, siempre que conserven capas internas funcionales de la retina (células bipolares y ganglionares). No está recomendado en casos de enfermedades que afectan a la retina interna (como la retinitis pigmentaria avanzada o el glaucoma), ni en personas con atrofia extensa de la retina periférica (Palanker et al., 2023).

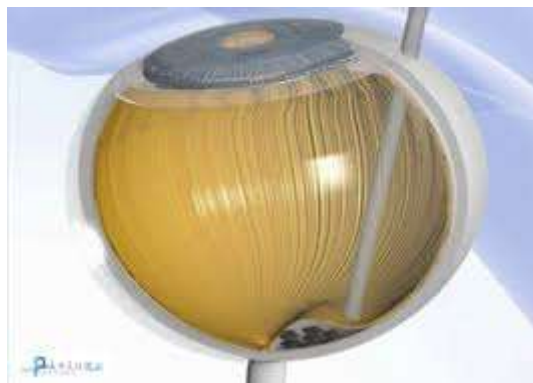


Figura 12. Prótesis subretiniana fotorvoltaica (PRIMA). Fuente: Adaptado de MedicalExpo (s.f.), <https://www.medicalexpo.es/prod/pixium-vision/product-115737-780450.html>. Derechos © MedicalExpo. Adaptación propia.

4.6.3 Prótesis corticales: Sistema Gennaris

El sistema *Gennaris Bionic Vision*, desarrollado por el *Monash Vision Group* (MVG) en Australia, constituye uno de los enfoques más innovadores en el ámbito de las prótesis visuales corticales. A diferencia de los implantes retinianos, que dependen de la integridad del nervio óptico o de las células fotorreceptoras, Gennaris estimula directamente la corteza visual primaria, lo que lo convierte en una alternativa viable para personas con ceguera completa causada por patologías como el glaucoma avanzado, la retinopatía diabética o la degeneración macular seca en fases terminales (Wong et al., 2023; He et al., 2024).

Este sistema está compuesto por cuatro elementos clave: una cámara montada sobre una montura tipo visera, un procesador portátil que interpreta las imágenes capturadas, un transmisor inalámbrico que envía la información procesada, y hasta diez microimplantes corticales (conocidos como *tiles*) colocados quirúrgicamente sobre la superficie de la corteza visual. Cada *tile* contiene 43 microelectrodos capaces de generar percepciones luminosas denominadas fosfenos. En conjunto, el sistema puede generar hasta 473 puntos de luz, formando representaciones visuales simplificadas útiles para el reconocimiento de objetos, formas o desplazamientos (September 2016 Feature, 2016; He et al., 2024).

Entre sus principales ventajas se encuentra su amplia aplicabilidad clínica, al no requerir un globo ocular funcional. Este diseño permite recuperar parcialmente la percepción visual incluso en pacientes con daño ocular irreversible. Además, la tecnología de encapsulamiento cerámico utilizada en los implantes ha demostrado una alta biocompatibilidad y estabilidad a largo plazo en estudios preclínicos realizados en modelos ovinos, con seguimientos de hasta nueve meses sin observarse efectos adversos o daño cerebral (Wong et al., 2023; New Atlas, 2020).

No obstante, el sistema también presenta limitaciones importantes. La resolución visual que proporciona es aún baja, ya que los fosfenos generados ofrecen una visión fragmentaria, útil para tareas básicas como detectar movimiento u obstáculos, pero insuficiente para leer o reconocer rostros con precisión (He et al., 2024). Asimismo, la implantación requiere neurocirugía especializada, lo cual limita su disponibilidad a centros altamente cualificados. Además, el sistema se encuentra aún en fase preclínica, y aunque los estudios con animales han sido exitosos, no se han publicado resultados de ensayos clínicos en humanos (New Atlas, 2020).

En cuanto al coste, no se ha difundido una estimación exacta, pero se anticipa que será considerable debido a la complejidad de sus componentes, la cirugía necesaria y la rehabilitación postoperatoria. Aun así, su implementación podría considerarse costo-efectiva para pacientes sin otras alternativas terapéuticas, en términos de mejora de la calidad de vida (Wong et al., 2023; He et al., 2024).

En la siguiente tabla (**Tabla 8**) se realiza una comparación entre las tres tecnologías emergentes analizadas.

Tabla 8. Comparativa entre Terapia génica, *PRIMA* y *Gennaris*.

Tecnología	Descripción general	Ventajas	Limitaciones	Coste estimado	Compatibilidad
Terapia génica	Inserción de genes funcionales para tratar distrofias retinianas.	Mejora funcional validada; indicada en fases tempranas.	Alto coste; requiere células viables y cirugía especializada.	≈850.000 USD (bilateral).	Distrofias con mutación RPE65 y retina viable.
<i>PRIMA</i>	Implante subretiniano que convierte luz en estímulos eléctricos.	Agudeza central mejorada; sin cables; actualizable.	Baja resolución; cirugía compleja; coste elevado.	>100.000 euros.	DMAE atrófica con retina interna conservada.
<i>Gennaris</i>	Prótesis cortical que estimula directamente la corteza visual.	No depende del ojo; adaptable y biocompatible.	En fase preclínica; requiere neurocirugía avanzada.	No especificado, anticipadamente alto.	Ceguera total por daño ocular o nervio óptico.

Fuente: Elaboración propia a partir del contenido del capítulo 4.6

CAPÍTULO 5

5. DISCUSIÓN

La evolución y diversificación de las tecnologías de asistencia para personas con discapacidad visual ha generado un panorama tan amplio como complejo. Actualmente, existen ayudas centradas en la ampliación de la imagen residual (lupas, magnificadores digitales), otras que se apoyan en la sustitución sensorial (sistemas hápticos, conversores texto-voz), y una tercera generación de soluciones basadas en inteligencia artificial, realidad aumentada o prótesis neuronales. Esta variedad refleja el progreso tecnológico, pero también plantea importantes desafíos tanto para los profesionales como para los propios usuarios.

Al comparar estas soluciones, se evidencia una brecha funcional y económica significativa entre las ayudas tradicionales (como las lupas ópticas o el bastón blanco) y las tecnologías más avanzadas (como gafas inteligentes, dispositivos portátiles con IA o prótesis corticales). Las primeras, si bien más accesibles económicamente, ofrecen prestaciones limitadas y dependen de un resto visual mínimo. Las segundas, aunque más eficaces y adaptativas, presentan barreras importantes en cuanto a coste, disponibilidad, necesidad de conexión constante o formación técnica.

En este contexto, una de las tendencias más marcadas es la integración de inteligencia artificial y tecnologías portátiles en dispositivos de uso cotidiano, como los *smartphones*. Herramientas como *Seeing AI* o *Be My AI* representan un punto de inflexión al incorporar procesamiento de lenguaje natural y respuesta multimodal en tiempo real. Estas tecnologías permiten una experiencia más fluida y personalizada, especialmente útil en tareas como lectura, orientación o reconocimiento de objetos. Sin embargo, su eficacia sigue estando condicionada por aspectos como la calidad del *hardware*, la conectividad, y la familiaridad del usuario con el entorno digital.

Mirando hacia el futuro, emergen desafíos importantes para garantizar una adopción masiva y equitativa de estas tecnologías. El primero es el de la accesibilidad económica: muchas ayudas innovadoras superan los 2.000 €, lo que las vuelve inaccesibles para buena parte del colectivo. En segundo lugar, la necesidad de una mayor personalización según la patología visual específica: no todas las soluciones son válidas para todos los casos, y la falta de sistemas adaptativos que integren múltiples niveles de pérdida visual sigue siendo una carencia en el mercado. A ello se suma la complejidad técnica de algunas soluciones, que puede limitar su uso, por ejemplo, en personas mayores.

Asimismo, existen barreras estructurales en la adopción, tanto por parte del colectivo con discapacidad visual como del sistema sanitario y profesional. En muchos casos, los usuarios desconocen la existencia de estas ayudas, no

cuentan con acompañamiento técnico para su adquisición o carecen de formación suficiente para utilizarlas con autonomía. Del lado profesional, se ha observado que muchos ópticos-optometristas no están familiarizados con estas herramientas, lo que dificulta su recomendación o prescripción.

En cuanto al contexto internacional, las diferencias en la financiación y disponibilidad de tecnologías de asistencia son significativas. En países como Alemania o Suecia, las ayudas técnicas a menudo están cubiertas parcialmente por el sistema de salud pública, lo que facilita el acceso a dispositivos como magnificadores electrónicos, lectores de pantalla o gafas inteligentes (Persson, Escudero & Fagerberg, 2018; World Health Organization [WHO], 2022). En Reino Unido, tanto el NHS (*National Health Service*) como ONG especializadas, por ejemplo, *RNIB*, colaboran para proporcionar acceso subvencionado a tecnologías como *OrCam* o *Envision Glasses*, incluso mediante pruebas controladas (RNIB, 2023).

En contraste, en España, la disponibilidad está más limitada. La ONCE y su Fundación destinan recursos a programas de rehabilitación y accesibilidad — 31 millones de euros en 2023 solo para accesibilidad— además de ofrecer formación en nuevas tecnologías (Fundación ONCE, 2023; ONCE, 2022). Sin embargo, muchos dispositivos electrónicos avanzados, como *OrCam*, *Envision Glasses* o *wearables* como *Sunu Band*, no están presentes en ópticas convencionales ni dentro del *Catálogo de Productos de Apoyo* del IMSERSO, por lo que deben adquirirse a través de distribuidores privados (IMSERSO, 2022). Además, no existe un sistema claro de prescripción médica o reembolso institucional para estas ayudas, lo cual genera un vacío frente a los modelos de países donde sí se integran formalmente (WHO, 2022).

Además, es importante señalar que muchas de las ayudas más innovadoras ni siquiera se comercializan de forma general en el mercado español. Mientras que tecnologías como *Electronic Cane* o la aplicación *Lazarilo App* sí están disponibles y en uso, otras como *Biped.ai* o prótesis visuales más avanzadas no se distribuyen a través de canales nacionales. Esta situación obliga a los usuarios interesados a recurrir a la importación privada o a distribuidores externos, lo cual incrementa todavía más los costes.

Así pues, aunque organizaciones como la ONCE hacen una valiosa labor en formación, sensibilización y prestaciones básicas, el acceso a tecnologías de asistencia de alta tecnología sigue siendo menor en España que en otros países europeos, lo que representa una barrera de equidad en el acceso a las ayudas más innovadoras.

A lo largo del análisis realizado en este trabajo, he podido constatar que, si bien el desarrollo tecnológico en el ámbito de la baja visión ha sido impresionante en las últimas dos décadas, muchas de estas soluciones siguen siendo inaccesibles en la práctica. El precio elevado, la necesidad de conocimientos técnicos y la escasa disponibilidad comercial hacen que el acceso a estas ayudas

siga siendo excepcional más que habitual. Este es un problema especialmente preocupante si consideramos que cada vez más personas necesitarán apoyo visual, debido al envejecimiento progresivo de la población y al aumento de enfermedades como la degeneración macular, el glaucoma o la retinopatía diabética.

Además, como profesional en formación, resulta complejo recomendar una ayuda concreta a un paciente. El abanico de opciones es tan amplio, y a menudo tan poco transparente en cuanto a eficacia real, que la elección de una solución adecuada se convierte en una tarea complicada. Esto se agrava por el hecho de que muchas de estas ayudas son todavía muy poco conocidas, incluso entre ópticos-optometristas, lo cual genera un vacío entre la tecnología disponible y su aplicación clínica real.

Por todo ello, considero fundamental que desde la formación universitaria se ofrezca una preparación más sólida en relación con las múltiples opciones tecnológicas existentes para la baja visión, no solo en cuanto a su funcionamiento, sino también en cuanto a criterios claros, pautas o protocolos que orienten al profesional sobre cómo y cuándo recomendarlas adecuadamente. Asimismo, es imprescindible avanzar hacia una mayor inclusión institucional de estas tecnologías en el sistema sanitario y educativo. Urge promover políticas que garanticen la equidad en el acceso a estas herramientas. No basta con que las soluciones existan: deben ser verdaderamente alcanzables.

CAPÍTULO 6

6. CONCLUSIONES

El presente trabajo ha permitido realizar un recorrido riguroso y actualizado por las tecnologías de asistencia dirigidas a personas con discapacidad visual, con especial atención a aquellas soluciones más destacables a lo largo del tiempo. A través del análisis histórico, funcional y clínico de estas tecnologías, se ha puesto de manifiesto tanto el progreso alcanzado en los últimos años como las barreras que aún persisten para su adopción masiva, equitativa y efectiva.

6.1 Resumen de hallazgos

- Diversidad y evolución tecnológica: Las ayudas para personas con baja visión han pasado de soluciones ópticas tradicionales (lupas, bastones) a dispositivos inteligentes basados en realidad virtual, inteligencia artificial y sensores hápticos. La aparición de gafas con realidad aumentada, apps de navegación, lectores de pantalla y dispositivos portátiles (*wearables*) ha redefinido las posibilidades de autonomía personal.
- Tecnologías combinadas y dificultad de clasificación universal: Como se ha observado a lo largo de los capítulos, la mayoría de las tecnologías actuales no se limitan a una sola categoría funcional, sino que combinan simultáneamente distintos sistemas. Por ejemplo, muchos dispositivos portátiles integran inteligencia artificial y/o retroalimentación háptica o auditiva. Esta convergencia tecnológica, si bien positiva en términos de funcionalidad, dificulta la elaboración de una clasificación universal, ya que muchas ayudas no pueden encasillarse exclusivamente como "IA", "*wearables*" o "realidad aumentada", sino que pertenecen a varias categorías a la vez.
- Impacto funcional y psicológico: Las tecnologías analizadas no solo mejoran el acceso a la información visual, sino también la movilidad, la participación educativa y laboral, y el bienestar psicológico. Sin embargo, el impacto real depende de factores como el nivel de pérdida visual, la edad, la experiencia digital del usuario y el contexto de uso.
- Tendencias actuales: Las soluciones más recientes tienden a ser multimodales, adaptativas y portátiles, integradas en plataformas de uso diario como *smartphones*. Destacan especialmente las aplicaciones impulsadas por IA, los dispositivos de navegación predictiva y el creciente uso del diseño universal en interfaces accesibles.
- Desigualdad en el acceso: Se ha identificado una brecha importante entre la tecnología disponible y la realmente accesible, tanto por motivos económicos como por la escasa comercialización local. En España, muchas ayudas avanzadas no son fácilmente accesibles ni tampoco susceptibles de financiación pública, a diferencia de otros países europeos.

- Desconocimiento y falta de formación: Parte del colectivo con baja visión, así como muchos profesionales de la visión, desconocen las tecnologías más recientes. Esto dificulta su recomendación, uso clínico e integración en procesos de rehabilitación visual.

6.2 Recomendaciones generales

- Para profesionales sanitarios: Se recomienda promover una mayor formación continua en tecnologías de asistencia, tanto en la práctica clínica como en el ámbito universitario. El óptico-optometrista debe estar capacitado no solo para evaluar la funcionalidad visual, sino también para orientar al paciente sobre soluciones tecnológicas ajustadas a su caso.
- Para las instituciones y políticas públicas: Es fundamental integrar estas tecnologías en los catálogos de prestaciones públicas, fomentar programas de financiación y garantizar su disponibilidad en los centros ópticos y de rehabilitación visual. También se sugiere reforzar la colaboración entre administraciones, universidades y fabricantes para impulsar la accesibilidad y validación clínica de nuevos dispositivos.
- Para futuras investigaciones: Es necesario seguir desarrollando estudios comparativos que evalúen la eficacia real de estas ayudas en distintos contextos y perfiles de usuarios. Además, se requiere investigar sobre usabilidad, aceptación y entrenamiento, especialmente en personas mayores o con menor familiaridad tecnológica.

6.3 Reflexión final

El avance tecnológico en el campo de la discapacidad visual ha sido indudable. Las soluciones actuales permiten niveles de autonomía impensables hace tan solo dos décadas. Sin embargo, todavía queda mucho por hacer para que estos avances se traduzcan en beneficios reales para todos. La innovación, por sí sola, no basta. Se necesita accesibilidad económica, apoyo institucional, formación profesional y sensibilización social.

El verdadero reto no está solo en seguir innovando, sino en garantizar que esas innovaciones lleguen a todas las personas, sin importar su nivel de visión, recursos o contexto. Para lograrlo, es imprescindible avanzar hacia un enfoque basado en el diseño para todos, donde se tenga en consideración desde el principio a las personas con discapacidad, creando soluciones funcionales para todo el mundo, sin distinción.

7. BIBLIOGRAFÍA

1. Aadya, T. H., Aishwarya, R. C., Ananya, P., Ayush, K., Bhumika, M. B., & Dakshayini, M. (2025). *AI-powered smart glasses for the visually impaired*. International Journal of Creative Research Thoughts (IJCRT), 13(3), 383–393. <https://www.ijcrt.org/>
2. AFB. (2024). *Supersense App Review*. American Foundation for the Blind. <https://www.afb.org/>
3. Ali, M., Ali, A., & Asad, A. (2024). *Usability and Accessibility of Mobile Applications for the Visually Impaired: A Systematic Review*. Universal Access in the Information Society, 23(1), 95–112. <https://doi.org/10.1007/s10791-024-09460-7>
4. Amedi, A., Maidenbaum, S., & Abboud, S. (2013). Increasing accessibility to the blind of virtual environments, using a virtual mobility aid based on the "EyeCane": Feasibility study. PLOS ONE, 8(8), e72555. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0072555>
5. American Foundation for the Blind (AFB). (2020). *A review of the Voice Dream Reader for iOS: A one-stop solution*. <https://www.afb.org/aw/20/5/15607>
6. AppleVis. (2024). *Biped.ai – smart co-pilot for blind pedestrians*. <https://www.applevis.com>
7. Ávila, I., Caballero, C., González, J. J., & Hernández, M. (2018). *Remote assistance for blind users in daily life: A survey about Be My Eyes* [Poster presentation]. Universitat Politècnica de València. <https://riunet.upv.es/handle/10251/111386>
8. Be My Eyes. (n.d.). *How Be My AI works*. <https://www.bemyeyes.com/blog/how-be-my-ai-works>
9. Bernell, C., McDonald, S., & Duarte, M. (2024). *Improving Spatial Orientation in Visually Impaired Adults Using VR-Based Mobility Training*. Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation, 21(3), 56–69. <https://doi.org/10.1007/s10055-024-00987-0>
10. Bhagat, M., Patidar, P., Goel, M., & Patel, D. (2023). *Accessibility evaluation of major assistive mobile applications available for the visually impaired*. International Journal for Research in Applied Science and Engineering Technology (IJRASET), 11(2), 2652–2659. <https://doi.org/10.22214/ijraset.2023.50072>
11. Bhuckory, M. B., Monkongpitukkul, N., Shin, A., Goldstein, A. K., Jensen, N., Shah, S. V., ... & Palanker, D. (2025). Enhancing prosthetic vision by upgrade of a subretinal photovoltaic implant in situ. Nature Communications, 16, 2820. <https://doi.org/10.1038/s41467-025-58084-y>
12. Bhuckory, S., Palanker, D. V., Le Mer, Y., Lecleire-Collet, A., Silva, R. M. S., Sahel, J. A., ... & Lorach, H. (2025). *Improved prosthetic vision with higher resolution photovoltaic subretinal implants*. Ophthalmology Science, 5(1), 100329. <https://doi.org/10.1016/j.xops.2024.100329>

13. Biped.ai. (2024a). *NOA: Manual técnico y guía de uso profesional*. https://www.biped.ai/assets/docs/NOA_manual.pdf
14. Biped.ai. (2024b). *How it works*. <https://www.biped.ai/how-it-works>
15. Bourne, R. R. A., Flaxman, S. R., Braithwaite, T., Cicinelli, M. V., Das, A., Jonas, J. B., Keeffe, J., Kempen, J. H., Leasher, J., Limburg, H., Naidoo, K., Pesudovs, K., Resnikoff, S., Silvester, A., Stevens, G. A., Tahhan, N., Wong, T. Y., Taylor, H. R., & Vision Loss Expert Group. (2017). Magnitude, temporal trends, and projections of the global prevalence of blindness and distance and near vision impairment: a systematic review and meta-analysis. *The Lancet. Global Health*, 5(9), e888–e897. [https://doi.org/10.1016/S2214-109X\(17\)30293-0](https://doi.org/10.1016/S2214-109X(17)30293-0)
16. Breeman, D. (2023). *Accessible tech expands options for low vision and blind patients*. Vision Monday. <https://www.visionmonday.com/>
17. Cañavate, A., & Hidalgo, J. (2018). Tecnologías de Realidad Aumentada: una revisión desde la interacción persona–ordenador. *Proceedings*, 62(1), 8. <https://doi.org/10.3390/proceedings2018062008>
18. Casanova, E., Guffanti, D., & Hidalgo, L. (2025). Technological advancements in human navigation for the visually impaired: A systematic review. *Sensors (Basel, Switzerland)*, 25(7), 2213. <https://doi.org/10.3390/s25072213>
19. Chen, J., Galindo Esparza, R. P., Garaj, V., Kristensson, P. O., & Dudley, J. (2025). *EnVisionVR: A scene interpretation tool for visual accessibility in virtual reality*. arXiv. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2502.03564>
20. Conexiant. (2025). *Biped: The wearable GPS for the blind*. <https://www.conexiant.org/biped-review>
21. Conexiant. (2025). *Envision Glasses: Tecnología de asistencia inteligente*. <https://www.conexiant.com/tecnologia-asistiva/envision>
22. Conexiant. (2025). *Researchers Evaluate AI-based Smart Glasses and Apps in Patients with Vision Impairment*. <https://www.conexiant.com/research/seeing-ai-evaluation>
23. Creed, C., Al-Kalbani, M., Theil, A., Sarcar, S., & Williams, I. (2023). *Inclusive AR/VR: Accessibility Barriers for Immersive Technologies*. Universal Access in the Information Society. <https://doi.org/10.1007/s10209-023-00969-0>
24. Da Silva, P. B. E., Leal, A. S., & Ferraz, N. N. (2022). Usability of smartphone apps as reading aids for low vision patients. *Disability and Rehabilitation. Assistive Technology*, 17(7), 848–852. <https://doi.org/10.1080/17483107.2020.1820086>
25. Delboni Lomba, L. F., Godoy da Silva, J., Insabralde de Queiroz Cardoso, A., Vieira de Melo, A., Lam Orué, A., Salvaterra de Araújo, D., ... & Schettert Silva, I. (2019). *Accessibility analysis for the visually impaired using LazarilloApp*. *International Journal for Innovation Education and Research*, 7(10), 21-30. <https://doi.org/10.31686/ijer.Vol7.Iss10.1711>
26. Devitt, T. (2019, August 6). *Augmented reality glasses help people with*

- low vision better navigate their environment. Medical Xpress. <https://medicalxpress.com/news/2019-08-augmented-reality-glasses-people-vision.html>
27. Espinoza, R. (2020). *Lazarillo App: Orientation and Autonomy for People with Visual Impairment*. *Nafath*, (14), 26–27. Mada Center.
 28. Fischer, M. D., Abicht, L., Priglinger, S., Preising, M. N., Lorenz, B., & Zrenner, E. (2024). Real-world safety and effectiveness of voretigene neparvovec: Two-year results from the observational post-authorization PERCEIVE study. *Eye*. <https://doi.org/10.1038/s41433-024-03065-6>
 29. Fundación ONCE. (2023). *Cuentas anuales consolidadas 2023*. <https://www.fundaciononce.es/es/pagina/cuentas-anuales>
 30. GBD 2019 Blindness and Vision Impairment Collaborators, & Vision Loss Expert Group of the Global Burden of Disease Study. (2021). Trends in prevalence of blindness and distance and near vision impairment over 30 years: an analysis for the Global Burden of Disease Study. *The Lancet. Global Health*, 9(2), e130–e143. [https://doi.org/10.1016/S2214-109X\(20\)30425-3](https://doi.org/10.1016/S2214-109X(20)30425-3)
 31. Gonzalez-Garcia, L., Gajardo, J., Valenzuela, D., & Olivares, R. (2023). *Performance on Activities of Daily Living and User Experience When Comparing Smartphone Apps for People With Visual Disabilities*. *Journal of Visual Impairment & Blindness*, 117(4), 439–452. <https://doi.org/10.1177/0145482X231199814>
 32. Granquist, C., Wu, Y.-H., Gage, R., Crossland, M. D., & Legge, G. E. (2018). How people with low vision achieve magnification in digital reading. *Optometry and Vision Science: Official Publication of the American Academy of Optometry*, 95(9), 711–719. <https://doi.org/10.1097/OPX.0000000000001261>
 33. He, M., Shivdasani, M. N., Tahayori, B., Wong, Y. T., Gallego, G., Lowery, A. J., ... & Burkitt, A. N. (2024). Architecture and validation of a cortical vision prosthesis for the blind. *Nature Communications*, 15, 3263. <https://doi.org/10.1038/s41467-024-38027-1>
 34. He, Q., Layton, A., McDermott, H. J., & Wong, Y. T. (2024). *Vision prostheses: Advances in cortical stimulation and perceptual outcomes*. *Journal of Neural Engineering*, 21(1), 011001. <https://doi.org/10.1088/1741-2552/ad231a>
 35. Herskovitz, A., Zhao, Y., & Kane, S. K. (2020). Making mobile augmented reality applications accessible to blind users. *arXiv preprint arXiv:2010.06035*. <https://arxiv.org/abs/2010.06035>
 36. History of braille and the early education of the blind. (s.f.). *Duxburysystems.com*. https://www.duxburysystems.com/braille_history.asp
 37. Hogle, A. (2019). *Microsoft Tools Bring VR Access to Low-Vision, Blind Users*. Learning Guild. <https://www.learningguild.com/articles/microsoft->

- tools-bring-vr-access-to-low-vision-blind-users/
38. Honda Research Institute. (2024). *Biped.ai and Honda: Joint development of AI-based navigation*. <https://www.hondarnd.com/biped>
 39. IMSERSO. (2022). *Catálogo de productos de apoyo*. CEAPAT-IMSERSO. <https://ceapat.imserso.es/>
 40. IXD@Pratt. (2024). *Assistive technology spotlight: Voice Dream Reader*. <https://ixd.prattsi.org/2024/voice-dream-review>
 41. Jensen, M., & Stagg, B. (2024, May 9). *Visual impairment in an aging population*. Moran CORE. John A. Moran Eye Center, University of Utah. <https://morancore.utah.edu/basic-ophthalmology-review/visual-impairment-in-an-aging-population/>
 42. Knowbility. (2021). *A brief history of screen readers*. Knowbility. <https://knowbility.org/blog/2021/a-brief-history-of-screen-readers>
 43. Lavric, A., Beguni, C., Zadobrischi, E., Căilean, A.-M., & Avătămănit,ei, S.-A. (2024). *A comprehensive survey on emerging assistive technologies for visually impaired persons: Lighting the path with visible light communications and artificial intelligence innovations*. *Sensors*, 24(15), 4834. <https://doi.org/10.3390/s24154834>
 44. Lazarillo App. (2024). *Official website*. <https://www.lazarillo.app>
 45. Lee, K., Hong, J., Jarjue, E., Mensah, E. E., & Kacorri, H. (2022). From the lab to people's home: Lessons from accessing blind participants' interactions via smart glasses in remote studies. *19th Web for All Conference (W4A'22)*. <https://doi.org/10.1145/3493612.3520448>
 46. Lee, S., Yu, R., Xie, J., Billah, S. M., & Carroll, J. M. (2022). Opportunities for human-AI collaboration in remote sighted assistance. *27th International Conference on Intelligent User Interfaces (IUI'22)*. <https://doi.org/10.1145/3490099.3511113>
 47. Let's Envision. (2024). *Envision Glasses overview*. <https://www.letsenvision.com>
 48. Liang, I., Spencer, B., Scheller, M., Proulx, M. J., & Petrini, K. (2022). Assessing people with visual impairments' access to information, awareness and satisfaction with high-tech assistive technology. *The British Journal of Visual Impairment*, 026461962211317. <https://doi.org/10.1177/02646196221131746>
 49. Maidenbaum, S., Hanassy, S., Abboud, S., Buchs, G., Chebat, D.-R., Levy-Tzedek, S., & Amedi, A. (2014). The "EyeCane", a new electronic travel aid for the blind: Technology, behavior & swift learning. *Restorative Neurology and Neuroscience*, 32(6), 813–824. <https://doi.org/10.3233/RNN-140385>
 50. Meliones, A., & Sampson, D. (2018). *Blind MuseumTourer: A System for Self-Guided Tours in Museums and Blind Indoor Navigation*. *Technologies*, 6(1), 4. <https://www.mdpi.com/2227-7080/6/1/4>
 51. Mencagli, M., Tiengo, A., Simonetti, D., Ferrari, A., & Rossi, M. (2023).

- Evaluating Virtual Environments for Blind Navigation Training: A User-Centered Approach. *Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing*, 14(1), 112–130. <https://doi.org/10.1007/s10055-023-00850-8>
52. Microsoft News. (2020). *Lazarillo: la app de geolocalización que mejora la autonomía de las personas con discapacidad visual*. <https://news.microsoft.com/es-xl/lazarillo-app-geolocalizacion/>
53. Microsoft. (2023). *Seeing AI app launches on Android with GPT-powered generative features*. <https://blogs.microsoft.com>
54. Mihalache, C., Bejan, A., & Geman, O. (2023). *Artificial intelligence-based solutions for visually impaired individuals: A scoping review*. *Journal of Medicine and Life*, 16(4), 556–564. <https://doi.org/10.25122/jml-2023-0031>
55. Minhat, M., Mohd Shariff, S. Q. H., & Mohd Rashid, S. M. (2020). *Enhancing the usability of tactile map for the visually impaired*. *Journal of Engineering and Science Research*, 4(4), 12–19. https://www.researchgate.net/publication/350899449_Enhancing_the_Usability_of_Tactile_Map_for_the_Visually_Impaired
56. Muhsin, Z. J., Qahwaji, R., Ghanchi, F., & Al-Tae, M. (2024). Review of substitutive assistive tools and technologies for people with visual impairments: recent advancements and prospects. *Journal on Multimodal User Interfaces*, 18(1), 135–156. <https://doi.org/10.1007/s12193-023-00427-4>
57. Muqit, M., Le Mer, Y., de Koo, L. O., Holz, F. G., Sahel, J. A., & Palanker, D. (2023). *Prosthetic visual acuity with the PRIMA system in patients with atrophic age-related macular degeneration at 4 years follow-up*. medRxiv. <https://doi.org/10.1101/2023.11.12.23298>
58. Naayini, P., Myakala, P. K., Bura, C., Jonnalagadda, A. K., & Kamatala, S. (2025). *AI-powered assistive technologies for visual impairment*. arXiv preprint arXiv:2503.15494. <https://arxiv.org/abs/2503.15494>
59. New Atlas. (2020). *Australia's first bionic eye clears preclinical trials, ready for humans*. <https://newatlas.com/medical/gennaris-bionic-eye-clears-preclinical-trials>
60. Nguyen, B. J., Chen, W. S., Chen, A. J., Utt, A., Hill, E., Apgar, R., & Chao, D. L. (2019). Large-scale assessment of needs in low vision individuals using the Aira assistive technology. *Clinical Ophthalmology*, 13, 1853–1868. <https://doi.org/10.2147/OPTH.S215658>
61. Nguyen, H. Q., Sahel, J. A., & Lorenz, B. (2023). Gene therapy for inherited retinal diseases: exploiting new tools in the clinic. *Frontiers in Ophthalmology*, 3, 1270561. <https://doi.org/10.3389/fopht.2023.1270561>
62. Nguyen, T., Ali, M., Sisk, R. A., & Jayasundera, K. T. (2024). *Gene therapy for inherited retinal diseases: Recent advances and future directions*. *Progress in Retinal and Eye Research*, 97, 101077.

- <https://doi.org/10.1016/j.preteyeres.2023.101077>
63. ONCE. (2022). *Memoria de servicios sociales para personas afiliadas*. <https://www.once.es/dejanos-ayudarte/memoria-anual>
 64. Ophthalmology Times. (2022). *Biped unveils AI-powered harness for blind users at CES*. <https://www.opthalmologytimes.com>
 65. Ortiz, D., Manzanera, A., Salinas, C., & Pastor, M. A. (2025). Evaluation of an Augmented Reality Based Visual Aid for People with Peripheral Visual Field Loss. *Photonics*, 12(2), 262. <https://doi.org/10.3390/photonics12020262>
 66. Ortiz-Escobar, L. M., Chavarria, M. A., Schönenberger, K., Hurst, S., Stein, M. A., Mugeere, A., & Rivas Velarde, M. (2023). Assessing the implementation of user-centred design standards on assistive technology for persons with visual impairments: a systematic review. *Frontiers in Rehabilitation Sciences*, 4, 1238158. <https://doi.org/10.3389/fresc.2023.1238158>
 67. Palanker, D. V., Le Mer, Y., & Lorach, H. (2023). *Photovoltaic restoration of central vision in age-related macular degeneration*. *Nature Communications*, 14, 12345. <https://doi.org/10.1038/s41467-023-12345-w>
 68. Palanker, D. V., Le Mer, Y., Mohand-Saïd, S., Lorach, H., Guez, J. E., & Sahel, J. A. (2024). Long-term results from the PRIMA subretinal prosthesis trial for vision restoration in dry age-related macular degeneration. *British Journal of Ophthalmology*, 108(2), 123–130. <https://doi.org/10.1136/bjo-2023-324562>
 69. Pang, J. J., Li, J., & Hauswirth, W. W. (2023). Gene therapy for inherited retinal diseases: clinical progress and evolving approaches. *Terapia Génica y Medicina de Precisión*, 12(3), 145–160.
 70. Park, J., Goldstein, A. K., Zhuo, Y., Jensen, N., & Palanker, D. (2025). Simulation of prosthetic vision with PRIMA system and enhancement of face representation. *arXiv preprint arXiv:2503.11677*. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2503.11677>
 71. Pascolini, D., & Mariotti, S. P. (2012). Global estimates of visual impairment: 2010. *The British Journal of Ophthalmology*, 96(5), 614–618. <https://doi.org/10.1136/bjophthalmol-2011-300539>
 72. Perkins School for the Blind. (2023). *Apps for everyday life: Navigation apps*. <https://www.perkins.org/resource/navigational-apps/>
 73. Perkins School for the Blind. (2023). *Voice Dream Reader app*. <https://www.perkins.org/resource/voice-dream-reader-app/>
 74. Perkins School for the Blind. (s.f.). *App spotlight: Seeing AI*. <https://www.perkins.org/resource/app-spotlight-seeing-ai/>
 75. Persson, S., Escudero, C., & Fagerberg, P. (2018). Provision and financing of assistive technology in Sweden. *Disability and Rehabilitation: Assistive Technology*, 13(3), 259–267. <https://doi.org/10.1080/17483107.2017.1318308>

76. Pittet, C. E., & Fabien, M. (2025). *Sensory cues in assistive technologies: A comparative study of the BuzzClip and NOA*. medRxiv. <https://doi.org/10.1101/2025.02.20.25322389>
77. PowerMapper. (2023). *Accessibility Analysis of Supersense Mobile App*. <https://www.powermapper.com/>
78. Ricci, F. S., Liguori, L., Palermo, E., Rizzo, J.-R., & Porfiri, M. (2024). Navigation Training for Persons With Visual Disability Through Multisensory Assistive Technology: Mixed Methods Experimental Study. *JMIR Rehabilitation and Assistive Technologies*, 11, e55776. <https://doi.org/10.2196/55776>
79. RNIB. (2023). *Technology for life: Our services*. Royal National Institute of Blind People. <https://www.rnib.org.uk/advice/technology>
80. Sánchez-Tocino, H., Méndez-Martínez, S., & García-Layana, A. (2024). *Avances en terapia génica para distrofias hereditarias de la retina*. *Archivos de la Sociedad Española de Oftalmología*, 99(2), 65–76. <https://doi.org/10.1016/j.oftal.2023.11.003>
81. Sánchez-Tocino, H., Vallejo-García, J. L., Rodríguez-Pérez, P., & Eguizábal, M. (2024). Terapia génica para enfermedades hereditarias de la retina: avances y retos. *Archivos de la Sociedad Española de Oftalmología*, 99(1), 12–24.
82. Santos, A. D. P. dos, Suzuki, A. H. G., Medola, F. O., & Vaezipour, A. (2021). *A systematic review of wearable devices for orientation and mobility of adults with visual impairment and blindness*. IEEE Access. https://www.researchgate.net/publication/356823769_A_Systematic_Review_of_Wearable_Devices_for_Orientation_and_Mobility_of_Adults_With_Visual_Impairment_and_Blindness
83. Saska, J., De Luca, A., Fontana, F., & Salati, L. (2021). Sensors-Based Electronic White Cane with Enhanced Obstacle Detection and Auditory Feedback. *Sensors*, 21(8), 2700. <https://doi.org/10.3390/s21082700>
84. Savani, N., & Hettige, B. (2024). *Mobile Applications for Visually Impaired: A Review*. In *Proceedings of the International Conference on Smart Computing* (pp. 1–7). <https://www.researchgate.net/publication/379000179>
85. Sebriy, Z., Raghay, S., & Bencharef, O. (2018). An assistive technology for Braille users to support mathematical learning: A semantic retrieval system. *Symmetry*, 10(11), 547. <https://doi.org/10.3390/sym10110547>
86. Senjam, S. S., Manna, S., & Bascaran, C. (2021). Smartphones-Based Assistive Technology: Accessibility Features and Apps for People with Visual Impairment, and its Usage, Challenges, and Usability Testing. *Clinical Optometry*, 13, 311–322. <https://doi.org/10.2147/OPTO.S336361>
87. September 2016 Feature. (2016). *The Bionic Eye That Bypasses the Eye*.

- Australian Academy of Science.
<https://www.science.org.au/curious/people-medicine/bionic-eye>
88. Supersense. (2024). *Official Website*. <https://www.supersense.app/>
 89. Tapu, R., Mocanu, B., & Zaharia, T. (2020). Wearable assistive devices for visually impaired: A state of the art survey. *Pattern Recognition Letters*, 137, 37–52. <https://doi.org/10.1016/j.patrec.2018.10.031>
 90. Teixeira, H. E., dos Santos, R. L., Rodrigues, M. M. D., Souza, F. A. S., de Almeida, J. F. A., & Lopes, I. L. (2023). Wearable Haptic Device as Mobility Aid for Blind People: Electronic Cane. In *2023 18th Iberian Conference on Information Systems and Technologies (CISTI)* (pp. 1–6). IEEE. <https://doi.org/10.23919/CISTI59305.2023.10202032>
 91. Teng, R. S., & Sin, S. K. R. (2015). *Mobile text reader for people with low vision*. *Jurnal Teknologi (Sciences & Engineering)*, 74(6). https://www.researchgate.net/publication/282454525_Mobile_Text_Reader_for_People_with_Low_Vision
 92. Top5Accessibility. (2024). *Best wearable devices for blind and low vision users*. <https://www.top5accessibility.com>
 93. Top5Accessibility. (2024). *Review: Envision Glasses para personas con discapacidad visual*. <https://www.top5accessibility.com/envision-glasses-review>
 94. Tsouktakou, A., Hamouroudis, A., & Horti, A. (2024). *The use of artificial intelligence in the education of people with visual impairment*. *World Journal of Advanced Engineering Technology and Sciences*, 13(01), 734–744. <https://doi.org/10.30574/wjaets.2024.13.1.0481>
 95. TXsenseAbilities. (2024). *Envision Glasses: Opinión técnica sobre su aplicación asistiva*. <https://www.txsenseabilities.org>
 96. Varshney, A. S., Chougale, M. E., Patel, C. V., & Chauhan, M. D. (2025). Evaluating usability of “the smart vision glasses” for individuals who are visually impaired and totally blind. *Saudi Journal of Ophthalmology*, (en prensa). https://doi.org/10.4103/sjopt.sjopt_241_24
 97. Vasquez, A. (s.f.). *A brief history of screen readers*. Knowbility. <https://knowbility.org/blog/2021/a-brief-history-of-screen-readers>
 98. Voice Dream. (2024). *Voice Dream Reader: Product page*. <https://www.voicedream.com/reader/>
 99. WebAIM. (2021). *Screen reader user survey #9 results*. <https://webaim.org/projects/screenreadersurvey9/>
 100. Wong, Y. T., Grayden, D. B., Burkitt, A. N., & Shivdasani, M. N. (2023). *Gennaris cortical vision prosthesis: An update on design and clinical trials*. *Frontiers in Neuroscience*, 17, 112345. <https://doi.org/10.3389/fnins.2023.112345>
 101. Wong, Y. T., Tahayori, B., Shivdasani, M. N., Lowery, A. J., & Burkitt, A. N. (2023). A narrative review of recent advances in cortical visual prostheses. *Brain Sciences*, 13(4), 574. <https://doi.org/10.3390/brainsci13040574>
 102. World Health Organization. (2022). *Global report on assistive*

- technology. <https://www.who.int/publications/i/item/9789240062887>
103. World Health Organization. (2022, October 12). *Blindness and visual impairment*. <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/blindness-and-visual-impairment>
 104. Xie, J., Yu, R., Zhang, H., Billah, S. M., Lee, S., & Carroll, J. M. (2025). *Beyond Visual Perception: Insights from Smartphone Interaction of Visually Impaired Users with Large Multimodal Models*. In *Proceedings of the 2025 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems* (CHI '25). ACM. <https://doi.org/10.1145/3706598.3714210>
 105. Zallio, M., & Ohashi, T. (2022). *The evolution of assistive technology: A literature review of technology developments and applications*. In D. Schmorrow & C. Fidopiastis (Eds.), *Proceedings of the AHFE 2022 International Conference on Human Factors in Accessibility and Assistive Technology* (Vol. 37, pp. 85–93). AHFE Open Access. https://www.researchgate.net/publication/357953227_The_Evolution_of_Assistive_Technology_A_Literature_Review_of_Technology_Developments_and_Applications
 106. Zhang, X., Huang, X., Ding, Y., Long, L., Li, W., & Xu, X. (2024). Advancements in smart wearable mobility aids for visual impairments: A bibliometric narrative review. *Sensors (Basel, Switzerland)*, 24(24). <https://doi.org/10.3390/s24247986>
 107. Zhao, Y., Bennett, C. L., Yeh, T., & Ladner, R. E. (2019). *SeeingVR: A Set of Tools to Make Virtual Reality More Accessible to People with Low Vision*. In *Proceedings of the 2019 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems* (pp. 1–14). ACM. <https://doi.org/10.1145/3290605.3300341>
 108. Žilak, A., Skok, D., & Milfelner, B. (2022). A systematic review of handheld augmented reality solutions for people with disabilities. *Sensors*, 22(19), 7719. <https://doi.org/10.3390/s22197719>