



Problemas y requisitos en el diseño de un robot de guiado para personas ciegas y mayores

M. Garrosa¹, M. Ceccarelli², M. Russo²

¹ Departamento de Ingeniería Mecánica, Universidad Carlos III de Madrid, mgarrosa@ing.uc3m.es

² Departamento de Ingeniería Industrial, Universidad de Roma Tor Vergata, marco.ceccarelli@uniroma2.it, matteo.russo@uniroma2.eu

La Organización Nacional de Ciegos Españoles (ONCE) y el Instituto Nacional de Estadística (INE) estiman que hay aproximadamente 72 000 personas ciegas o con discapacidad visual grave registradas en España. Además, si se tiene en cuenta a las personas con algún grado de discapacidad visual (moderada o severa), la cifra puede ascender a alrededor de un millón. Por otro lado, el envejecimiento de la población aumenta cada vez más rápido y genera una mayor demanda de dispositivos que prolonguen su vida independiente. Por lo tanto, existe una gran necesidad de desarrollar sistemas robóticos que ayuden a las personas mayores y ciegas a ser más independientes y a sentirse más seguras en sus hogares. El objetivo de este artículo es presentar un robot hexápodo que pueda guiar tanto a personas con discapacidad visual como a personas mayores por entornos interiores y exteriores. Este robot guía se diseñará con sensores que le permitan percibir y analizar el entorno en el que se mueve la persona asistida, generar una ruta de navegación adecuada y proporcionar información en tiempo real. A continuación, la persona asistida seguirá al robot mediante retroalimentación verbal y/o a través de una interfaz mecánica. El robot debe proporcionar información verbal clara mediante un sistema de voz y ser capaz de entender y ejecutar órdenes verbales de la persona asistida, lo que facilitará la interacción sin necesidad de interfaces mecánicas como pantallas táctiles o botones. En este artículo se aborda el análisis de los problemas y requisitos de las soluciones de guiado destinadas a personas invidentes y de la tercera edad. A partir de este análisis, se identifican los requisitos esenciales que deben cumplir las posibles soluciones para ser efectivas y seguras, y esto servirá de base para el desarrollo de un diseño conceptual de un robot guía. Se presenta el diseño conceptual de un robot hexápodo que combina dos patas delanteras con ruedas y cuatro ruedas, dos de ellas motorizadas, todas unidas a una plataforma hexagonal que constituye el cuerpo del robot. Las ruedas están distribuidas de manera simétrica en torno al eje del cuerpo y se ubican detrás de las patas delanteras. Cada pata delantera está compuesta por un actuador lineal. El robot utilizará las ruedas para desplazarse de manera eficiente sobre superficies planas, mientras que las patas delanteras con ruedas le permitirán superar obstáculos como escaleras.

1. Introducción

La Organización Mundial de la Salud (OMS) estima que actualmente hay alrededor de 43 millones de invidentes en el mundo. Además, 295 millones de personas tienen algún tipo de discapacidad visual moderada o grave, por lo que corren el riesgo de sufrir ceguera si no reciben la atención adecuada. En España, según datos de la Organización Nacional de Ciegos Españoles (ONCE) y el Instituto Nacional de Estadística (INE), hay aproximadamente 72 000 personas ciegas o con discapacidad visual grave registradas en el país. Además, si se tienen en cuenta las personas con algún grado de discapacidad visual (moderada o severa), la cifra puede ascender a alrededor de un millón. Se prevé que el crecimiento y el envejecimiento de la población aumenten el riesgo de discapacidad visual para más personas. Por otro lado, el envejecimiento de la población aumenta a un ritmo rápido y genera una mayor demanda de dispositivos que prolonguen la vida independiente. Se estima que aproximadamente el 10,3 % de la población mundial tiene 65 años o más, lo que equivale a más de 850 millones de personas. Por lo tanto, existe una gran necesidad de desarrollar robots que ayuden a las personas mayores y ciegas a ser más independientes y a sentirse más seguras en sus hogares.

El 80 % de la información necesaria para nuestra vida cotidiana proviene del órgano de la visión: los ojos. Esto significa que la mayoría de las habilidades que poseemos, de los conocimientos que adquirimos y de las actividades que desarrollamos se basan en información visual. La visión es fundamental para la autonomía y el desenvolvimiento de cualquier persona.

En [1] se presenta el robot RG-I, que tiene tres ruedas y puede navegar de manera eficaz por interiores gracias a un telémetro láser y a sensores de radiofrecuencia (RFID). En [2] se presenta GuideCane, un robot con el que los usuarios pueden interactuar utilizando un bastón de guía ligero. El robot incorpora sensores de ultrasonidos que detectan los obstáculos circundantes y calculan una trayectoria segura para el usuario. En [3], un sistema robótico equipado con un sensor visual, un telémetro láser y un altavoz proporciona información sobre el entorno a personas con discapacidad visual. Los datos del láser se analizan mediante la técnica de agrupación, lo que permite detectar obstáculos, escalones y escaleras. En [4], se presenta iPath, un robot de guiado inteligente que puede seguir un camino marcado en el suelo, detectar el movimiento del usuario y los obstáculos mediante infrarrojos y un sensor ultrasónico. En [5], se presenta una nueva ayuda robótica para la navegación: el Co-Robotic Cane, que utiliza una cámara tridimensional para estimar la posición y reconocer objetos en entornos interiores. En [6], se diseña un robot que permite a las personas invidentes desplazarse con seguridad por terrenos desconocidos y realizar trayectos de forma autónoma. Para ello, utiliza sensores ultrasónicos, LIDAR e infrarrojos, junto con un sistema de cámaras que le permiten percibir y analizar su entorno dinámico. El robot se maneja mediante comandos de voz facilitados por una aplicación móvil. En [7-10] se propusieron otros diseños. El uso de robots con patas para guiar a personas invidentes se ha visto limitado debido a la complejidad de sus sistemas de control, lo que ha provocado la escasez de literatura en este campo. En [11], se presenta HexGuide, un robot guía hexápodo diseñado para guiar a personas con discapacidad visual en entornos difíciles, como aeropuertos e intersecciones, mediante el empleo de una unidad de medición inercial (IMU), una cámara de profundidad, un LIDAR y comandos de voz. En [12] se emplea el robot cuadrúpedo Mini Cheetah, que incorpora un sensor LIDAR para localizar el robot y una cámara de profundidad para detectar a la persona. En [13], se utiliza el sistema robótico cuadrúpedo Laikago, que incluye un dispositivo de tracción controlable que puede ajustar la longitud y la fuerza de la interacción entre la persona ciega y el robot para garantizar su comodidad. NSK cuenta con un perro guía robot que tiene ruedas en ambos extremos de las patas. El robot utiliza principalmente estas ruedas para desplazarse, mientras que las patas mecánicas le permiten subir obstáculos como escaleras. Un sensor de imagen de distancia situado en la cabeza permite reconocer los escalones, mientras que la información de las patas se obtiene mediante sensores de proximidad [14]. En [15] se diseña un robot guía móvil para entornos exteriores. El robot planifica la trayectoria con los datos del radar ultrasónico y los sensores inerciales. El sistema de visión del robot guía identifica los obstáculos que tiene delante y su distancia mediante un algoritmo de aprendizaje profundo y de alcance binocular, e informa al invidente mediante voz. En [16] se propone un robot hexápodo con ruedas, capaz de reconocer semáforos y adaptar la velocidad entre el robot y la persona invidente. Los dispositivos posibles son otro sistema que se ha desarrollado para ayudar a las personas invidentes en distintos entornos [17-19].

El cambio demográfico en el mundo es una realidad y, como consecuencia, aumenta el número de personas mayores tanto en los países desarrollados como en los que están en vías de desarrollo. A medida que aumenta la proporción de personas mayores en la población, aumenta la demanda de servicios sanitarios y sociales, como el cuidado de ancianos, lo que plantea varios problemas sociales y económicos. La mayoría de las personas mayores prefiere quedarse solas en casa antes que vivir con sus familias, que podrían ocuparse de ellas. Los robots pueden revolucionar el cuidado de las personas mayores, ya que les proporcionan ayuda, compañía y servicios de vigilancia.

Existen diversos tipos de robots diseñados para asistir a personas mayores en su vida cotidiana, mejorar su calidad de vida y fomentar su autonomía. Por ejemplo, los robots de compañía y apoyo emocional, como Paro, que tiene forma de foca y responde al tacto y a la voz. Paro está diseñado para proporcionar tres tipos de efectos: psicológicos, como la relajación y la motivación; fisiológicos, como la mejora de las constantes vitales; y sociales,

como el fomento de la comunicación entre pacientes y cuidadores [20]. También hay robots de asistencia en el hogar, como Roomba, una aspiradora autónoma que ayuda a mantener limpio el hogar sin necesidad de que la persona mayor intervenga en el proceso [21]. Robots de monitorización de la salud y recordatorio de medicación, como Mabu, un robot interactivo que recuerda al usuario que debe tomar la medicación y recopila información sobre su estado de salud para transmitirla a los cuidadores o médicos [22]. Robots de movilidad y soporte físico, como LEA (Lean Empowering Assistant) [23]. Este robot fue diseñado específicamente para personas mayores y con movilidad reducida, con el fin de proporcionarles apoyo en sus desplazamientos y promover su independencia. Robots de telepresencia como Beam, que permiten a los familiares interactuar con la persona mayor mediante videoconferencia, haciéndola sentir acompañada [24]. Robots de asistencia cognitiva como Elli-Q, que recuerda tareas, ayuda a establecer rutinas y sugiere actividades para promover un estilo de vida saludable, como leer o caminar [25]. Robots de asistencia en emergencias, como Temi, que detecta caídas y envía alertas a familiares o servicios de emergencia [26]. Robots de rehabilitación como Armeo [27]. Este está diseñado específicamente para ayudar en la rehabilitación de brazos y manos, lo que resulta especialmente útil para personas mayores que han sufrido un accidente cerebrovascular, tienen lesiones neurológicas o alguna condición que afecta a la movilidad de sus extremidades superiores. Otros ejemplos de robots que ayudan a las personas mayores a moverse son Kompañ Assist [28], Care-O-bot [29] y Zora [30].

En el presente artículo se aborda un análisis detallado de los problemas y requisitos de las soluciones de guiado dirigidas a personas invidentes y de la tercera edad. Este análisis permite identificar los requisitos fundamentales que deben cumplir las posibles soluciones para garantizar su efectividad, seguridad y adaptabilidad a las necesidades específicas de estos colectivos. Basándose en los hallazgos obtenidos, se establecen los criterios clave que sirven como punto de partida para el diseño conceptual de un robot guía que ofrezca una asistencia fiable, intuitiva y accesible.

2. Entorno de vida de las personas invidentes

La tecnología de asistencia ha transformado la vida de las personas invidentes, ya que les ofrece más autonomía y acceso a la información. Muchos dispositivos electrónicos, como ordenadores y teléfonos inteligentes, cuentan con lectores de pantalla que convierten el texto en audio, lo que permite a las personas invidentes navegar por internet, leer correos electrónicos o utilizar aplicaciones. Programas como VoiceOver, en dispositivos de Apple, o TalkBack, en Android, son ejemplos de estas herramientas esenciales. Estos lectores de pantalla también facilitan la comunicación, ya que permiten acceder de manera fluida y accesible a aplicaciones de mensajería y redes sociales. Además, las aplicaciones de GPS adaptadas han revolucionado la forma en que las personas invidentes se mueven por el entorno urbano. Aplicaciones como BlindSquare y Google Maps en su versión accesible proporcionan indicaciones por voz en tiempo real, lo que facilita la navegación por calles, cruces y transporte público de manera más segura y autónoma.

En términos de movilidad física, las herramientas tradicionales, como el bastón blanco, siguen siendo fundamentales. Este dispositivo mecánico detecta obstáculos en el suelo, superficies irregulares, agujeros, escalones y otros peligros. Sin embargo, no pueden proporcionar la información necesaria para saber cómo se llega al destino teniendo en cuenta la posición y la orientación. Los perros guía son otro recurso esencial para muchas personas ciegas, ya que no solo les ofrecen movilidad segura, sino también compañía emocional. También se han desarrollado innovaciones como el bastón con sensores, que utiliza ultrasonidos o infrarrojos para detectar obstáculos situados por encima del nivel del suelo y proporcionar retroalimentación táctil o auditiva a las personas invidentes.

Los hogares de personas invidentes suelen incorporar diversas adaptaciones que les facilitan la vida diaria. Estas modificaciones están diseñadas para maximizar la autonomía y minimizar los riesgos. Etiquetar los electrodomésticos, los interruptores y otros productos del hogar en braille o en relieve ayuda a identificarlos y a utilizarlos de manera sencilla y segura. Las alarmas que emiten señales sonoras o utilizan asistentes virtuales pueden avisar cuando se activan ciertos dispositivos, como la lavadora o el microondas. Los sistemas de hogar inteligente, que se controlan por voz, también facilitan la interacción con la iluminación, la calefacción y otros dispositivos sin necesidad de asistencia visual. A pesar de estas adaptaciones, las personas ciegas pueden enfrentarse a una serie de problemas cotidianos en su hogar. Uno de los problemas más comunes es la dificultad para localizar objetos pequeños, como llaves, teléfonos o utensilios, sobre todo si no están en su lugar habitual. Los objetos que están caídos o fuera de su sitio son difíciles de encontrar si no se tiene una referencia visual, y pueden requerir tiempo o ayuda para recuperarlos. Los obstáculos en el suelo suponen un riesgo de tropiezos y caídas. Además, las escaleras pueden ser peligrosas si no están bien señalizadas o adaptadas, lo que aumenta el riesgo de sufrir accidentes domésticos.

En cuanto a la accesibilidad en la ciudad y los espacios públicos, las ciudades más accesibles suelen tener guías táctiles en las aceras, semáforos con señales sonoras y rampas para facilitar la movilidad de las personas invidentes. Los autobuses y trenes accesibles cuentan con sistemas de audio que anuncian las paradas, lo que les permite

moveirse por la ciudad de manera más independiente. El uso de señales en braille en edificios públicos, ascensores y aseos ayuda a orientarse y a ser más autónomos.

Los grupos de apoyo y las organizaciones para personas con discapacidad visual desempeñan un papel fundamental en su integración social, ya que ofrecen talleres, actividades recreativas y laborales [31]. En la Figura 1 se muestra el entorno de vida de las personas invidentes.



Figura 1: Entorno de vida de las personas invidentes (a) interactuando con un dispositivo móvil, (b) con un bastón blanco y un perro guía, (c) ascensor con etiqueta en braille y domótica mediante asistente de voz [31].

3. Necesidades de guiado para personas mayores

La movilidad es un aspecto importante para la calidad de vida de las personas mayores, ya que les proporciona autonomía, les permite participar en la sociedad y les facilita el acceso a servicios esenciales. Para garantizar una experiencia de movilidad segura y eficaz, es fundamental tener en cuenta sus necesidades particulares. A continuación, se exponen algunos aspectos clave:

- Señales claras y adaptadas a sus capacidades. Las personas mayores necesitan señales visuales y auditivas adaptadas a sus capacidades. Esto incluye el uso de iconos grandes y fáciles de reconocer, colores de alto contraste para mejorar la visibilidad y mensajes breves, claros y fáciles de entender en formatos visuales y de audio. Estas adaptaciones no solo facilitan la orientación, sino que también aumentan la confianza y seguridad al desplazarse.
- Información en tiempo real. Un sistema de guía eficaz debe proporcionar actualizaciones constantes sobre el estado de las rutas, las condiciones meteorológicas adversas y los cambios en la accesibilidad de ciertos caminos. Así pueden adaptarse de inmediato a las circunstancias y evitar rutas que podrían resultar complicadas o peligrosas.
- Acceso a ayuda humana o tecnológica. Es esencial disponer de dispositivos o aplicaciones que permitan solicitar ayuda rápidamente en caso necesario.
- Herramientas y dispositivos de apoyo a la movilidad. El uso de herramientas de asistencia puede suponer una gran diferencia para que las personas mayores se desplacen con seguridad. Entre estas herramientas se encuentran los bastones inteligentes equipados con sensores que detectan obstáculos y emiten una vibración para advertir al usuario, los andadores, los robots de asistencia o las barreras físicas que delimitan rutas seguras y fáciles de seguir.
- Interacción y ayuda inteligente. La integración de tecnología inteligente puede transformar la experiencia de movilidad de las personas mayores. Estas herramientas se pueden personalizar para adaptarse a las necesidades concretas de cada usuario.
- Apoyo emocional y acompañamiento. Más allá del soporte físico para la movilidad, el acompañamiento emocional es fundamental. Muchas personas mayores experimentan sentimientos de soledad, aislamiento o ansiedad que pueden verse exacerbados por la dificultad para realizar actividades cotidianas o participar en la vida social. El temor a caídas o a desorientarse es un factor, pero el acompañamiento emocional también aborda la necesidad de conexión, seguridad y bienestar general. Un acompañante o un sistema de guiado puede brindar asistencia práctica para la movilidad, pero también un apoyo que fomente la confianza, reduzca la ansiedad y promueva una mayor autonomía y participación en su entorno.

Un robot guía puede ser una herramienta muy útil para las personas mayores con diferentes tipos de discapacidad. En particular, las personas con deterioro visual y auditivo suelen tener dificultades para percibir señales de orientación y detectar peligros en su entorno, al igual que las personas con problemas de equilibrio y coordinación, que son más propensas a sufrir caídas. También puede ser útil para las personas mayores con dificultades de movilidad y problemas cognitivos que afectan a la memoria, la orientación y la toma de decisiones. Además de su funcionalidad práctica, un robot guía puede ayudar a reducir la ansiedad y el estrés que muchas personas mayores

experimentan al desplazarse en entornos desconocidos o cambiantes. Además, el robot guía puede estar equipado con dispositivos que ayudan a transportar objetos. Si se combina con un diseño centrado en el usuario, esta herramienta tiene el potencial de mejorar su bienestar y promover una vida más independiente.

A continuación, en la Tabla 1 se compara la capacidad de una persona, un robot de guiado y un perro guía para satisfacer las necesidades de movilidad y apoyo identificadas en personas mayores. La baremación se realiza en una escala del 1 al 5, siendo 1 baja capacidad y 5, muy alta.

Tabla 1: Comparativa de la capacidad de una persona, un robot y un perro guía para satisfacer las necesidades de movilidad de las personas mayores.

Necesidades de guiado	Persona (Guía humano)	Robot de guiado	Perro guía
Señales claras y adaptadas	5	4	2
Información en tiempo real	4	5	1
Acceso a ayuda humana o tecnológica	5	5	1
Herramientas y dispositivos de apoyo a la movilidad	3	5	2
Interacción y ayuda inteligente	4	5	3
Apoyo emocional y acompañamiento	5	3	4

4. Problemas y requisitos

Para diseñar un robot guía para personas ciegas y mayores hay que tener en cuenta una serie de problemas. La integración de sensores que permitan al robot detectar obstáculos, cambios en el terreno y situaciones dinámicas puede resultar compleja. Además, cada usuario puede tener necesidades y preferencias diferentes. El robot debería poder adaptarse para ofrecer experiencias personalizadas. El robot debe ofrecer seguridad y autonomía para poder acceder a las instalaciones en igualdad de condiciones y eliminar las barreras a las que se enfrentan las personas ciegas y mayores para desarrollar su actividad. Debe poder detenerse o cambiar de dirección rápidamente ante situaciones inesperadas para evitar accidentes. Un diseño voluminoso o pesado podría suponer una barrera en lugar de una solución. Debe tener suficiente autonomía para realizar recorridos prolongados sin necesidad de recargas frecuentes. Además, debe funcionar en diversas condiciones ambientales, como lluvia, nieve o terrenos irregulares. Es importante que el robot sea asequible. Por último, se ha de considerar la percepción que tendrían las personas asistidas al usar el robot y cómo eso influiría en su disposición a adoptarlo. La Figura 2 resume los problemas que se deben considerar al diseñar un robot de guiado para personas mayores y ciegas.

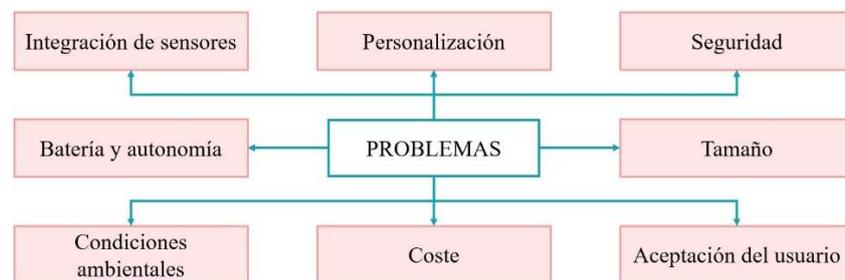


Figura 2: Problemas de un robot de guiado para personas ciegas y mayores.

La Figura 3 muestra las seis características principales que se consideran esenciales para un robot de guiado: que sea amigable, adaptable, eficaz, seguro, fiable e intuitivo. Estas características deseables, intrínsecamente ligadas a la usabilidad y la aceptación por parte de los usuarios, deben ser el punto de partida para definir la arquitectura y las funcionalidades del robot guía. Por consiguiente, la Figura 4 presenta la estructura de los requisitos técnicos y funcionales fundamentales para el diseño de dicho robot, estructurados de forma modular para abordar cada una de las cualidades esperadas. Cada componente o capacidad técnica aquí detallada es una respuesta directa a la necesidad de implementar y materializar las características identificadas en la Figura 3, de modo que el robot no solo funcione, sino que lo haga de una manera que sea verdaderamente útil, segura y que reciba una buena acogida por parte de sus usuarios.

En primer lugar, es fundamental contar con un módulo de percepción y seguridad. Para garantizar la seguridad del usuario, el robot debe poder percibir su entorno con precisión. Esto implica la capacidad de identificar objetos cotidianos, como puertas, sillas, escaleras y cruces de calles, así como de detectar obstáculos que puedan suponer un riesgo, como muebles, alfombras, objetos caídos o puertas entreabiertas. Esta funcionalidad es crucial para evitar tropiezos y accidentes, y para garantizar la integridad del usuario en todo momento. Además, el robot debe contar con sistemas que detecten y mantengan una distancia de seguridad adecuada con el propio usuario para evitar que este tropiece o colisione con él durante el guiado. Para lograr esta percepción detallada, el robot debe estar equipado con sensores avanzados que le permitan capturar información precisa del entorno.

El módulo de navegación inteligente y personalización es esencial para garantizar la eficacia y la adaptabilidad del robot. Para ello, el sistema debe poder crear mapas del entorno en tiempo real y de guiar al usuario por rutas seguras y eficientes. Para ofrecer indicaciones precisas y personalizadas, y adaptar la guía a diferentes entornos, es necesario que el robot conozca con exactitud la posición de la persona asistida y la suya propia. Esta capacidad permite ofrecer una guía personalizada y una navegación precisa.

Para lograr la amigabilidad y la intuición, el módulo de interacción y comunicación adaptada es fundamental. El robot debe poder proporcionar información verbal clara a través de un sistema de voz, que incluya descripciones del entorno, advertencias sobre peligros y confirmaciones de tareas. Esta interfaz auditiva y el uso de comandos de voz simplifican enormemente la interacción entre el usuario y el robot, ya que eliminan la necesidad de pantallas o botones complejos y promueven una interacción social natural e instrucciones claras. Además, es esencial implementar un sistema de inteligencia artificial (IA) que permita al robot adaptarse a las necesidades específicas de la persona asistida y a las condiciones cambiantes del entorno, lo que contribuye a la personalización. Para ello, se pueden desarrollar algoritmos de aprendizaje automático que permitan al robot mejorar su rendimiento a medida que interactúa con el usuario, lo que crea una experiencia más personalizada y eficiente.

Finalmente, el módulo de asistencia a tareas y autonomía aborda la capacidad del robot para ir más allá del guiado y contribuir a la eficacia y fiabilidad. El robot debe ser capaz de ayudar al usuario en su movilidad y de localizar objetos importantes, como llaves y teléfonos, ofreciendo asistencia en las tareas cotidianas. Esta funcionalidad adicional no solo incrementa la independencia del usuario, sino que también contribuye a su bienestar general al facilitarle tareas cotidianas. Además, para garantizar un funcionamiento continuo y la autonomía, el robot debe gestionar su energía de manera eficiente.



Figura 3: Propiedades de un robot de guiado para personas ciegas y mayores, que fundamentan los requisitos técnicos detallados en la Figura 4.

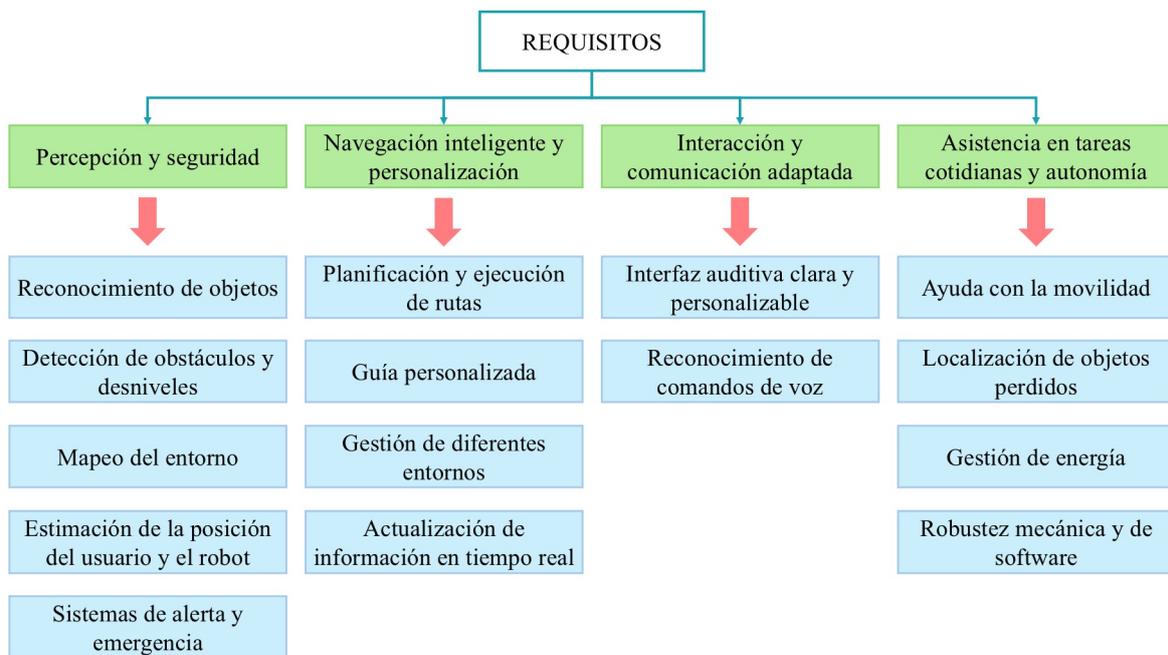


Figura 4: Requisitos técnicos y funcionales de un robot de guiado para personas ciegas y mayores, derivados de las propiedades presentadas en la Figura 3.

En las Tablas 2 y 3 se resumen las principales características de los robots de asistencia existentes para la movilidad de las personas ciegas y mayores, respectivamente.

Tabla 2: Comparativa de las principales características de los robots de asistencia para la movilidad de las personas ciegas.

Robot	Tipo	Características	Sensores	Interfaz
HexGuide [11]	6 patas	Entornos difíciles, como aeropuertos e intersecciones	18 motores, 18 codificadores, 1 IMU, cámara, LiDAR	Bastón retráctil, voz
Mini Cheetah [12]	4 patas	Entornos interiores estrechos, como puertas, pasillos y esquinas	Cámara, LiDAR	Correa
Laikago [13]	4 patas	Entornos interiores estrechos. Longitud 650 mm, anchura 350 mm, altura 600 mm, carga máxima 5 kg, velocidad de marcha -0,5 ~ 0,8 m/s	Cámara, LiDAR	Cuerda elástica
[14]	4 patas, 8 ruedas	Reconoce y sube escaleras. Longitud 520 mm, anchura 660 mm, altura 1200 mm, peso 40 kg	Proximidad, imagen y distancia	Agarradera, voz
[15]	3 ruedas	Entornos exteriores	Radar ultrasónico, inerciales	Bastón, voz
[16]	6 patas con ruedas	Adapta la velocidad robot-persona ciega e identifica señales de tráfico	Cámara, radar láser, GPS	Táctil, voz, guante para control

Tabla 3: Comparativa de las principales características de los robots de asistencia para la movilidad de las personas mayores.

Robot	Aplicaciones	Funciones	Tamaño (mm)	Peso (kg)	Interfaz	Autonomía (h)
Kompaï Assist [28]	Comunicación social, detección de emergencias, recordatorio, entretenimiento, entrenador, monitorización y funciones de salud	Navegación autónoma, detección humana, detección objetos, reconocimiento de voz	1800x930x1650	68	Pantalla táctil, voz	24
Care-O-bot [29]	Comunicación social, detección de emergencias, manipulación de objetos, recordatorio, entretenimiento, entrenador	Navegación autónoma, detección humana, detección objetos, reconocimiento de voz	720x720x1580	140	Pantalla táctil, voz, agarradero	5
Zora [30]	Comunicación social, detección de emergencias, entretenimiento, entrenador	Navegación autónoma, detección humana, detección objetos, reconocimiento de voz	275x311x574	5,5	Control mediante app, voz, táctil, botón	1,5

5. Un diseño conceptual

En esta sección, se describe el proceso de diseño preliminar de un robot hexápodo destinado a guiar a personas ciegas y mayores, en el que se priorizan características como el bajo coste y la facilidad de uso.

El diseño del prototipo de robot propuesto se organiza en torno a una plataforma hexagonal que constituye su cuerpo central. Para desplazarse, el robot emplea un sistema híbrido que le confiere estabilidad y capacidad de maniobra en diversos terrenos. Este sistema consta de cuatro ruedas, distribuidas simétricamente en la parte trasera de la plataforma, de las cuales dos son motrices y las otras dos, pasivas. Complementando estas ruedas, el robot incorpora dos patas delanteras. Cada una de estas patas está equipada con una rueda y un actuador lineal. Estos actuadores permiten a las patas ajustar su extensión y posición, lo que facilita su movilidad y capacidad de maniobra en espacios complejos o al superar pequeños desniveles. Esta configuración, que combina la eficiencia de movimiento de las ruedas con la adaptabilidad de las patas delanteras, optimiza su desplazamiento tanto en entornos interiores como exteriores, y le permite interactuar de manera estable con el terreno.

La Figura 5 muestra un esquema de los componentes principales del prototipo de robot necesarios para cumplir los requisitos previamente establecidos, agrupados por su función principal. Estos elementos, tanto de hardware como de software, son la base sobre la que se construyen las funcionalidades del robot. Por ejemplo, el módulo de percepción y seguridad de la Figura 4 se basa en los sensores (IMU, LiDAR y cámara), así como en parte del controlador. La navegación inteligente y la personalización se logran mediante la integración de actuadores y el software de control y marcha, gestionados por el controlador y el sistema de IA. Asimismo, la interacción y la comunicación adaptadas se consiguen mediante el sistema de comunicación (micrófono y altavoz) y el sistema de IA. Finalmente, la asistencia en tareas cotidianas y la autonomía se apoyan en la estructura mecánica (cuerpo, patas y ruedas) y el sistema de energía (batería), junto con el sistema de IA. La integración adecuada de estos componentes y su funcionamiento sinérgico son determinantes para garantizar que el robot ofrezca una solución efectiva y centrada en el usuario.

La Figura 6 muestra una clasificación detallada de los tipos de sensores que se tienen en cuenta para el prototipo, organizados según su función principal y las capacidades específicas que habilitan.

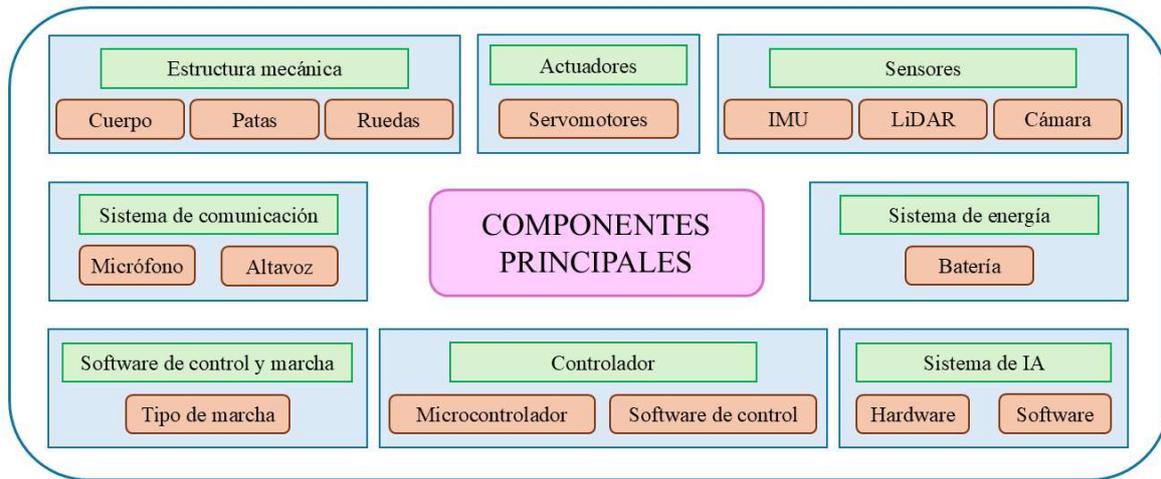


Figura 5: Componentes principales de un robot de guiado para personas ciegas y mayores.

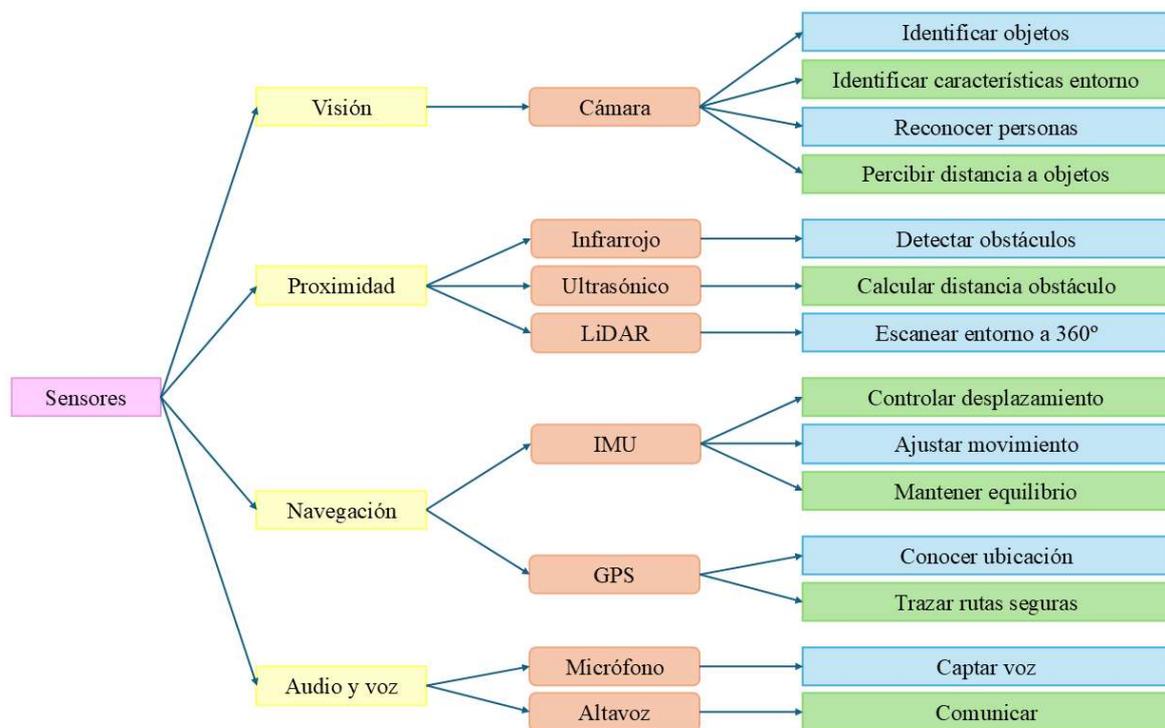


Figura 6: Sensores de un robot de guiado para personas ciegas y mayores.

La combinación de los sensores de la Figura 6 con sistemas de IA y de control avanzado permite que el robot opere de manera autónoma, detecte y evite obstáculos, aprenda de su interacción con el entorno y se adapte para brindar una experiencia personalizada al usuario.

El diseño preliminar se ha basado en la identificación de una serie de requisitos principales para el robot guía, que se detallan a continuación:

- Bajo coste: el coste total del robot debe mantenerse por debajo de los 1000 €, para garantizar su accesibilidad económica.
- Funcionamiento intuitivo: el robot debe ser fácil de manejar y comprender, especialmente para personas con capacidades físicas o cognitivas limitadas.
- Capacidad de carga útil: el robot debe ser capaz de transportar cargas ligeras, de entre 2 y 3 kg, para que los usuarios puedan llevar objetos personales o pequeños accesorios.
- Velocidad de desplazamiento: su velocidad debe ajustarse a un rango cómodo para caminar, entre 0,5 m/s y 1,5 m/s, acorde con el ritmo de una persona mayor o ciega.

- Peso: el peso total del robot debe oscilar entre 3 y 5 kg, lo que asegura una estructura robusta pero manejable.
- Dimensiones: su tamaño debe situarse dentro de un rango de 600-800 mm de largo, 400-600 mm de ancho y 300-700 mm de alto, para facilitar su uso en espacios interiores y exteriores.
- Autonomía operativa: la batería debe proporcionar entre 4 y 6 horas de funcionamiento continuo, lo que es suficiente para las actividades diarias.
- Interacción entre el usuario y el robot: el sistema debe incluir comandos de voz para garantizar una interacción accesible y natural.

Tras establecer los requisitos del sistema y definir los componentes principales, así como los tipos de sensores necesarios para el robot de guiado, el siguiente paso es presentar el diseño mecánico y la disposición espacial de sus elementos. La optimización de la ubicación de cada componente es fundamental para garantizar la funcionalidad, la estabilidad, la seguridad y la eficacia del robot en su operación, así como para asegurar el cumplimiento de los requisitos definidos.

La Figura 7 muestra el diseño conceptual del prototipo de robot, con la disposición estratégica de sus componentes internos y externos sobre la plataforma hexagonal que constituye su cuerpo principal. Este diseño integra los subsistemas mecánicos, electrónicos y de IA necesarios para cumplir con las capacidades requeridas. La cámara y el LiDAR se sitúan en la parte superior y frontal de la plataforma hexagonal. Los sensores infrarrojos y ultrasónicos se distribuyen perimetralmente en los laterales de la plataforma. Esta disposición permite un escaneo de 360° del entorno frontal y lateral del robot. Permite la detección y clasificación de obstáculos, la identificación de objetos y personas y la medición de distancias precisas, cubriendo los campos visuales y de proximidad necesarios para garantizar la seguridad y la navegación. La IMU y el GPS se encuentran en la parte central de la plataforma. El micrófono y el altavoz se encuentran en la parte superior. Su colocación superior optimiza la captación de la voz del usuario para los comandos y la emisión de mensajes claros desde el robot. Esto facilita una interacción de voz natural y efectiva. La unidad de control y el sistema de IA se encuentran en el interior del cuerpo del robot para garantizar su protección física.

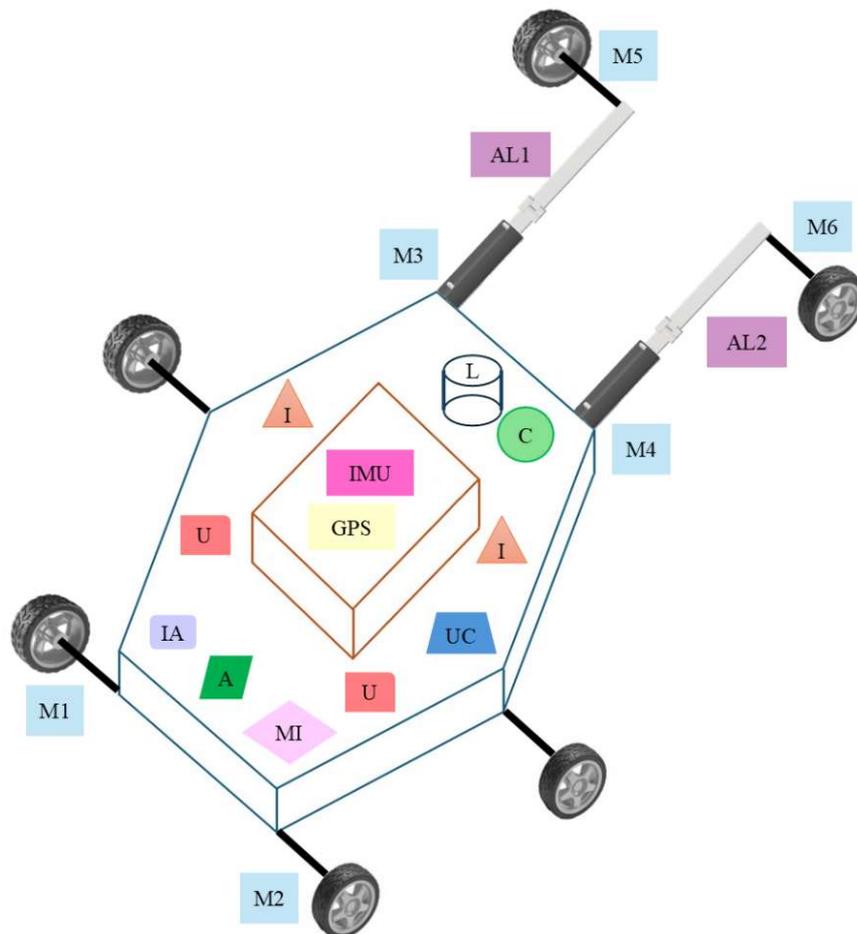


Figura 7: Diseño mecánico de un prototipo de robot de guiado (M: motor, AL: actuador lineal, C: cámara, I: infrarrojos, U: ultrasónicos, L: LiDAR, MI: micrófono, A: altavoz, IA: inteligencia artificial, UC: unidad de control).

6. Conclusiones

Este artículo presenta un análisis detallado de los requisitos técnicos y funcionales, así como de los principales problemas asociados al diseño y funcionamiento de robots de guiado para personas ciegas y mayores, teniendo en cuenta sus necesidades específicas y los desafíos a los que se enfrentan en su vida cotidiana. El objetivo es proporcionar una visión general de los factores que influyen en el desarrollo de estos sistemas de asistencia, abordando aspectos clave como la facilidad de uso, la orientación al usuario y el coste asequible. Se ha llevado a cabo un análisis de las soluciones tecnológicas existentes, lo que ha permitido identificar los requisitos técnicos necesarios para el desarrollo de un diseño conceptual de un robot guía hexápodo. Este enfoque garantiza que el dispositivo sea eficiente, seguro y adecuado para la interacción con los usuarios objetivo. En un futuro próximo, se perfeccionará el diseño y se construirá un prototipo completamente funcional del robot guía hexápodo que integre todos los componentes desarrollados en este artículo. El prototipo incluirá la estructura mecánica, los sistemas electrónicos, los sensores, el software de control y los módulos de inteligencia artificial. El prototipo servirá como plataforma demostrativa que permitirá validar y evaluar las funcionalidades del robot en condiciones reales.

7. Referencias

- [1] Kulyukin V., Gharpure C., Nicholson J., Osborne G., “Robot-assisted wayfinding for the visually impaired in structured indoor environments”, *Autonomous robots* **21**, 29-41 (2006). <https://doi.org/10.1007/s10514-006-7223-8>
- [2] Ulrich I., Borenstein J., “The GuideCane-applying mobile robot technologies to assist the visually impaired”, *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics-Part A: Systems and Humans* **31**, 131-136 (2001)
- [3] Capi G., “Assisting and guiding visually impaired in indoor environments”, *International Journal of Mechanical Engineering and Mechatronics* **1**, 9-14 (2012). <https://doi.org/10.11159/ijmem.2012.002>
- [4] Toha S. F., Yusof H. M., Razali M. F., Halim, A. H. A., “Intelligent path guidance robot for blind person assistance”, en *2015 International Conference on Informatics, Electronics & Vision (ICIEV)*, 1-5 (2015)
- [5] Ye C., Hong S., Qian X., Wu W., “Co-robotic cane: A new robotic navigation aid for the visually impaired”, *IEEE Systems, Man, and Cybernetics Magazine* **2**, 33-42 (2016). <https://doi.org/10.1109/MSMC.2015.2501167>
- [6] Bhaskar Nikhil S., Sharma A., Nair N. S., Sai Srikar C., Wutla Y., Rahul B., Jhavar S., Tambe, P., “Design and Evaluation of a Multi-Sensor Assistive Robot for the Visually Impaired”, en *International Conference on Advances in Mechanical Engineering and Material Science*. Singapore: Springer Nature Singapore. 119-131 (2023). https://doi.org/10.1007/978-981-99-5613-5_10
- [7] Kulkarni A., Wang A., Urbina L., Steinfeld A., Dias B., “Robotic assistance in indoor navigation for people who are blind,” *2016 11th ACM/IEEE International Conference on Human-Robot Interaction (HRI)*, Christchurch, New Zealand. 461-462 (2016). <https://doi.org/10.1109/HRI.2016.7451806>
- [8] Guerreiro J., Sato D., Asakawa S., Dong H., Kitani K. M., Asakawa C., “Cabot: Designing and evaluating an autonomous navigation robot for blind people”, en *Proceedings of the 21st international ACM SIGACCESS conference on computers and accessibility*. 68-82 (2019). <https://doi.org/10.1145/3308561.3353771>
- [9] Albogamy F., Alotaibi T., Alhawdan G., Mohammed F., “SRAVIP: smart robot assistant for visually impaired persons”, *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*, **12** (2021)
- [10] Wachaja A., Agarwal P., Zink M., Adame M. R., Möller K., Burgard W., “Navigating blind people with walking impairments using a smart walker”, *Autonomous Robots* **41**, 555-573 (2017). <https://doi.org/10.1007/s10514-016-9595-8>
- [11] Wang Z., Yang L., Liu X., Wang T., Gao F., “HexGuide: A Hexapod Robot for Autonomous Blind Guidance in Challenging Environments”, en: *Yang, H., et al. Intelligent Robotics and Applications. ICIRA 2023. Lecture Notes in Computer Science* **14271**. Springer, Singapore (2023). https://doi.org/10.1007/978-981-99-6495-6_42
- [12] Xiao A., Tong W., Yang L., Zeng J., Li Z., Sreenath K., “Robotic guide dog: Leading a human with leash-guided hybrid physical interaction”, en *IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA)*, 11470-11476 (2021). <https://doi.org/10.1109/ICRA48506.2021.9561786>
- [13] Chen Y., Xu Z., Jian Z., Tang G., Yang L., Xiao A., Wang X., Liang B., “Quadruped guidance robot for the visually impaired: A comfort-based approach”, en *IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA)*, 12078-12084 (2023). <https://doi.org/10.1109/ICRA48891.2023.10160854>

- [14] NSK develops four-legged robot “guide dog”. <https://newatlas.com/nsk-four-legged-robot-guide-dog/20559/> (2024, 3 de octubre).
- [15] Guo Y., Hao L., Wu Y., “Research on vision based outdoor blind guiding robot”, en *IEEE 12th International Conference on CYBER Technology in Automation, Control, and Intelligent Systems (CYBER)*, 283-288 (2022). <https://doi.org/10.1109/CYBER55403.2022.9907114>
- [16] Zhang L., Jia K., Liu J., Wang G., Huang W., “Design of Blind Guiding Robot Based on Speed Adaptation and Visual Recognition”, *IEEE Access* **11**, 75971-75978 (2023). <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2023.3296066>
- [17] Bai J., Lian S., Liu Z., Wang K., Liu D., “Virtual-blind-road following-based wearable navigation device for blind people”, *IEEE Transactions on Consumer Electronics* **64**, 136-143 (2018). <https://doi.org/10.1109/TCE.2018.2812498>
- [18] Hsieh Y. Z., Lin S. S., Xu F. X., “Development of a wearable guide device based on convolutional neural network for blind or visually impaired persons”, *Multimedia Tools and Applications* **79**, 29473-29491 (2020). <https://doi.org/10.1007/s11042-020-09464-7>
- [19] Rahman M. A., Siddika S., Al-Baky M. A., Mia M. J., “An automated navigation system for blind people”, *Bulletin of Electrical Engineering and Informatics* **11**, 201-212 (2022). <https://doi.org/10.11591/eei.v11i1.3452>
- [20] Wangmo T., Duong V., Felber N. A., Tian Y. J., Mihailov E., “No playing around with robots? Ambivalent attitudes toward the use of Paro in elder care”, *Nursing Inquiry*, e12645 (2024). <https://doi.org/10.1111/nin.12645>
- [21] Jones J. L., “Robots at the tipping point: the road to iRobot Roomba”, *IEEE Robotics & Automation Magazine* **13**, 76-78 (2006). <https://doi.org/10.1109/MRA.2006.1598056>
- [22] Robot Mabú. Catalia health. Disponible online: <https://robotsguide.com/robots/mabu> (2024, 18 de noviembre).
- [23] Robot LEA (Lean Empowering Assistant). Disponible online: <https://www.sparkdesign.nl/projects/lea-care-robot> (2024, 18 de noviembre).
- [24] Robot Beam. AWABOT beyond Robotic. Disponible online: <https://awabot.com> (2024, 18 de noviembre).
- [25] Robot Elli Q. Disponible online: <https://blog.elliq.com/2022-elliq-impact-report> (2024, 18 de noviembre).
- [26] Temibots: temi V3 Robot – Black. Disponible online: <https://temibots.com/product/temi-v3-robot-black-buy/> (2024, 18 de noviembre).
- [27] Adomavičienė A., Daunoravičienė K., Kubilius R., Varžaitytė L., Raistenskis J., “Influence of new technologies on post-stroke rehabilitation: a comparison of arneo spring to the kinect system”, *Medicina* **55**, 98 (2019). <https://doi.org/10.3390/medicina55040098>
- [28] Kompañ Assist. Disponible online: <https://www.kompairobotics.com/kompai-assist> (2024, 19 de noviembre).
- [29] Care-o-bot. Disponible online: <http://www.care-o-bot.de/> (2024, 19 de noviembre).
- [30] Zorabots. Disponible online: <https://www.zorarobotics.be/robots/nao> (2024, 19 de noviembre).
- [31] Organización Nacional de Ciegos Españoles (ONCE). Disponible online: <https://www.once.es/> (2024, 4 de diciembre).