

## **Diseño e implementación de un bastón multisensorial para el monitoreo de salud y del entorno**

Design and implementation of a multisensory cane for health and environmental monitoring

Javier Rodrigo García Rodríguez<sup>1</sup>, Hazael Enrique Náchez Sánchez<sup>1</sup>, Gerardo Gutiérrez Juárez

<sup>1</sup> División de Ciencias e Ingenierías, Campus León, Universidad de Guanajuato.  
jr.garciarodriguez@ugto.mx, he.nachezsanchez@ugto.mx

### **Resumen**

Se diseñó e implementó un bastón multisensorial con capacidad de monitoreo en tiempo real, dirigido a personas con discapacidad visual o movilidad reducida. El dispositivo integra diversos sensores —temperatura, giroscopio, oximetría, distancia, iluminación y GPS— y emplea el microcontrolador ESP32-DevKit V4, que envía los datos recolectados a un receptor basado en el microcontrolador XIAO ESP32-C3, junto con un módulo Bluetooth. A partir de esta conexión, se desarrolla una interfaz gráfica mediante MIT App Inventor para procesar, visualizar y transmitir los datos al usuario. El bastón ofrece funciones clave como la detección de obstáculos, el monitoreo de signos vitales, la identificación de caídas y la geolocalización en tiempo real. Se presenta como una solución accesible y de bajo costo, especialmente pensada para atender a poblaciones vulnerables en México. El proyecto destaca por la integración de tecnologías avanzadas con un enfoque en la accesibilidad económica, utilizando componentes de bajo costo y manufactura local.

**Palabras clave:** Bastón, multisensorial, discapacidad, monitoreo, salud, obstáculos, caídas, accesibilidad y aplicación.

### **Introducción**

La creciente demanda de soluciones tecnológicas para mejorar la calidad de vida de personas con discapacidades visuales y movilidad reducida ha impulsado el desarrollo de dispositivos avanzados que integren múltiples funcionalidades. Sin embargo, los bastones inteligentes actuales presentan limitaciones significativas, como costos elevados, funcionalidad limitada o la falta de integración entre el monitoreo de salud y la detección de riesgos ambientales.

El presente proyecto surge de la necesidad de crear una herramienta accesible y efectiva que atienda las dificultades específicas enfrentadas por las personas con discapacidades visuales y motrices. Según la Organización Mundial de la Salud (OMS), cerca de 39 millones de personas en el mundo son ciegas y otros 217 millones tienen discapacidad visual moderada a severa, muchas de las cuales también experimentan problemas de movilidad. Estas cifras reflejan una realidad alarmante: las limitaciones físicas no solo restringen la independencia de quienes las padecen, sino que también los exponen a riesgos significativos, como caídas, accidentes y emergencias médicas que podrían prevenirse con un monitoreo adecuado y asistencia eficiente. El desarrollo del bastón multisensorial busca apoyar a esta población al proporcionar una solución integral que combine asistencia en la movilidad y monitoreo de salud en tiempo real. Este proyecto responde a la necesidad urgente de equipar a las personas con herramientas tecnológicas que no solo aumenten su seguridad, sino que también fomenten su autonomía. Al integrar funciones como la detección de obstáculos, el monitoreo de parámetros vitales, la identificación de caídas y la localización en tiempo real, el bastón aborda una amplia gama de desafíos cotidianos que enfrentan estas personas, promoviendo una calidad de vida significativamente mejorada.

Desde una perspectiva biomédica, este dispositivo también responde al llamado de proporcionar herramientas que optimicen el cuidado y la vigilancia de la salud de manera accesible y efectiva. Las personas con discapacidades visuales y motrices suelen requerir un cuidado especializado que, en muchas ocasiones, no está disponible de forma inmediata o constante. Este bastón multisensorial tiene como objetivo llenar esa brecha al permitir que los usuarios y sus cuidadores reciban información en tiempo real sobre el estado físico y el entorno del usuario, posibilitando una intervención temprana en caso de emergencias a cualquier usuario con discapacidad visual y/o motriz.

Por otra parte, el bastón multisensorial no solo tiene un propósito individual, sino también un impacto social más amplio. Su diseño accesible busca democratizar el acceso a la tecnología, ofreciendo una alternativa asequible y de alto rendimiento que pueda beneficiar a una mayor cantidad de personas en comparación con los dispositivos existentes. En este sentido, el proyecto también tiene un objetivo inclusivo, promoviendo la equidad tecnológica para una población históricamente marginada.

A grandes rasgos este proyecto se realiza para contribuir significativamente a la mejora de la calidad de vida de las personas con discapacidades visuales y motrices, brindándoles mayor seguridad, autonomía y acceso a tecnologías avanzadas diseñadas específicamente para satisfacer sus necesidades. La ingeniería biomédica desempeña un papel esencial en este proceso al combinar innovación, diseño accesible y funcionalidad práctica para abordar uno de los desafíos más urgentes en el ámbito de la salud y la asistencia tecnológica.

## Antecedentes

El proyecto Implementación de Bastón Multisensorial para Monitoreo de Salud y Entorno busca ofrecer una solución tecnológica para mejorar la autonomía y seguridad de las personas con discapacidades visuales o movilidad reducida. Este dispositivo combina varios sensores y actuadores para proporcionar información en tiempo real sobre el entorno, la salud del usuario y posibles riesgos, con el objetivo de facilitar la movilidad y reducir accidentes.

En el ámbito de la asistencia a personas con discapacidades visuales, los bastones tradicionales cumplen una función básica de detección de obstáculos. Sin embargo, no ofrecen información adicional que podría ser crucial, como el estado de salud del usuario o la detección de obstáculos no palpables. Además, con el envejecimiento de la población y el aumento de enfermedades crónicas, se hace cada vez más relevante contar con herramientas que no solo ayuden a la movilidad, sino también a monitorear la salud y ofrecer un sistema de alerta en caso de emergencia. Según la Organización Mundial de la Salud (OMS), se estima que aproximadamente 1300 millones de personas viven con alguna forma de deficiencia de la visión. De hecho, se considera que en todo el mundo hay 36 millones de ciegos y 217 millones de personas con baja visión.

Los logros han podido constatar que 80% de los casos de ceguera son evitables, bien porque son resultado de afecciones prevenibles (20%), o bien porque pueden tratarse (60%) hasta el punto de recuperar la visión. La ceguera evitable está asociada a la pobreza y a la falta de acceso a servicios de atención oftalmológica de calidad [1]. Además, En México, la discapacidad motriz es una de las más comunes, con una prevalencia significativa dentro de las personas con discapacidad, que representan aproximadamente el 6% de la población, es decir, más de 5 millones de personas. Esta condición incluye problemas para caminar y realizar actividades que requieren coordinación física. El uso de bastones es común entre las personas con discapacidad motriz, ya que estos dispositivos les ayudan a mejorar su movilidad y estabilidad [2].

Existen múltiples desarrollos recientes en el campo de los bastones inteligentes, que han destacado por su innovación tecnológica y capacidad de mejorar la calidad de vida de los usuarios.

En primer lugar, la investigación de la Universidad de Stanford (2024) presentó un bastón robótico autónomo equipado con tecnologías derivadas de vehículos autónomos, como LIDAR, GPS y algoritmos de navegación basados en SLAM. Este bastón ayuda a los usuarios a navegar en entornos complejos mediante la detección de obstáculos y un sistema de guía intuitivo. Esta innovación ha hecho posible reducir significativamente el tiempo de desplazamiento de los usuarios, proporcionando una experiencia más rápida y segura [3]. De manera similar, el uso de dispositivos convencionales de ayuda a la deambulaci3n sigue siendo fundamental para reducir el riesgo de caídas, que son especialmente perjudiciales para las personas mayores y con discapacidades. Sin embargo, estudios recientes han evidenciado un uso incorrecto frecuente entre los usuarios de bastones. En este contexto, el sistema de asistencia más destacado ha sido SmartCane (2022),

que ha ganado relevancia debido a su enfoque avanzado en la adquisición de datos relacionados con el movimiento del bastón. Este dispositivo combina sensores modernos y tecnología de procesamiento para capturar información precisa sobre patrones de uso, interacción con el entorno y desplazamiento. Además, SmartCane integra soluciones tecnológicas que detectan obstáculos y analizan datos para mejorar la experiencia de movilidad [3, 4]. Sin embargo, este sistema carece de programabilidad y algoritmos de procesamiento de datos en tiempo real que proporcionen información inmediata al usuario.

Otro desarrollo relevante en el campo de los bastones inteligentes es el CAN Go™ de CAN Mobilities (2023), que se destaca por integrar múltiples tecnologías para mejorar la movilidad y seguridad de los usuarios. Este bastón está equipado con capacidades avanzadas, como detección de caídas, GPS y un sistema de comunicación que permite realizar llamadas de emergencia sin necesidad de dispositivos adicionales. Además, incluye un altavoz de alta calidad y un micrófono incorporado para facilitar la interacción. Su diseño ergonómico y la conectividad a la red inalámbrica de AT&T garantizan una comunicación continua y confiable entre los usuarios, sus cuidadores y familiares, proporcionando mayor tranquilidad y seguridad [5]. De igual manera, See Me Cane a finales del 2022 presentó el revolucionario bastón See Me de Smart Guider Inc. El primer bastón para ciegos totalmente iluminado que mejora la seguridad y la independencia. Se estima que 1 de cada 3 personas ciegas será atropellada por un coche a lo largo de su vida. Por eso utilizaron habilidades en la alfarería para recaudar los fondos necesarios para desarrollar un bastón para ciegos que se ilumina completamente. Este bastón puede permitir a los 253 millones de ciegos del mundo viajar de forma más segura e independiente [6].

Por otro lado, el proyecto europeo iWalk (2021) se centra en la integración de sensores ambientales y un sistema de monitoreo de salud en tiempo real, como oxímetros y sensores de temperatura. Este bastón inteligente ha sido diseñado específicamente para personas mayores, permitiendo no solo una navegación segura, sino también el seguimiento continuo de indicadores vitales, lo cual ha sido útil para la intervención médica temprana [7].

En el Instituto Tecnológico de México (2022) se desarrolló un bastón inteligente con enfoque en accesibilidad y bajo costo. Este proyecto incluye un sensor ultrasónico para detección de obstáculos, un módulo GPS para ubicación geográfica, y un sistema de alerta sonora para emergencias. Si bien este diseño es menos complejo que otros desarrollos internacionales, destaca por su adaptabilidad en contextos de bajos recursos [8].

De mismo modo el proyecto "Smart Mobility Cane" desarrollado en Alemania (2023) combina un sistema de visión por computadora con cámaras 3D. Este bastón detecta cambios en la superficie del terreno y advierte al usuario sobre peligros como escalones, bordes o superficies resbaladizas, aumentando significativamente la seguridad durante la marcha [9]. Por último y no menos importante, la ya mencionada empresa WeWALK lanzó al mercado su prototipo Smart Cane 2 en este 2024, este bastón inteligente está equipado con tecnología avanzada, incluido un asistente de voz AI para una navegación e interacción fluidas. El nuevo diseño ergonómico garantiza comodidad y facilidad de uso, mientras que la calidad de sonido mejorada y la detección de obstáculos mejorada proporcionan aún más seguridad y confianza.

El desarrollo de bastones inteligentes ha evolucionado significativamente en los últimos años, destacándose proyectos como el SmartCane y el bastón europeo iWalk. Estos dispositivos han demostrado la viabilidad de integrar sensores para la detección de obstáculos y monitoreo de salud, pero presentan limitaciones en costo, accesibilidad o capacidad de personalización. Por ejemplo, SmartCane se centra en la adquisición de datos sobre movilidad, pero carece de un sistema de monitoreo de salud en tiempo real. Por otro lado, iWalk integra sensores de salud, pero su alto costo y complejidad limitan su adopción en regiones de bajos recursos.

Nuestro proyecto toma estas fortalezas y aborda sus limitaciones al integrar tecnologías avanzadas en un diseño accesible y económico. La inclusión de sensores como el MAX30102 y el uso de un microcontrolador eficiente como el ESP32-C3 permiten no solo reducir costos, sino también ofrecer funcionalidades clave para el monitoreo de salud y movilidad. En este contexto, el bastón multisensorial propuesto combina lo mejor de ambos mundos: innovación tecnológica y accesibilidad económica, enfocado en resolver necesidades específicas de la población en México, particularmente en Guanajuato, donde las limitaciones de recursos tecnológicos y económicos son prevalentes.

Según el INEGI, más de 2 millones de personas en México tienen alguna discapacidad visual, y en Guanajuato, el 5.6% de la población tiene algún tipo de discapacidad, con un porcentaje significativo viviendo en zonas rurales. Estas áreas suelen presentar desafíos de accesibilidad tecnológica, lo que hace indispensable ofrecer soluciones que sean económicas y funcionales.

Además, considerando que el salario promedio mensual en Guanajuato es de aproximadamente \$8,000 MXN, muchos dispositivos inteligentes, cuyo costo supera los \$10,000 MXN, resultan inaccesibles para la mayoría de los usuarios. Nuestro proyecto prioriza un costo reducido mediante el uso de componentes económicos y la manufactura local, asegurando que sea una opción viable para quienes más lo necesitan. Este enfoque no solo mejora la accesibilidad económica, sino que también busca fomentar la inclusión tecnológica en comunidades vulnerables.

## Metodología

En la primera etapa referente a la planeación, se establecieron objetivos claros, seleccionaron sensores y actuadores adecuados, y se optó por el microcontrolador ESP32 DevKit V4 debido a su compatibilidad y su capacidad para comunicarse mediante el protocolo ESP-NOW, lo que facilitó la integración entre hardware y software. La segunda etapa se realizó el diseño, este se dividió en tres áreas clave: eléctrica, mecánica y estructural. Se priorizó la creación de un bastón resistente y seguro, utilizando una estructura de PVC como eje central del bastón, dando el soporte a la caña y mediante la impresión 3D la elaboración del mango, una base para alojar los componentes electrónicos y proteger los circuitos de factores externos y un receptor donde se encuentra el microcontrolador y el módulo Bluetooth. En la tercera etapa de programación y pruebas de sensores, se abordó la calibración precisa de los sensores y la configuración. Esto permitió la transmisión eficiente de datos estructurados hacia una interfaz gráfica desarrollada en MIT App Inventor, diseñada para mejorar la interacción del usuario con la información generada por el bastón.

Finalmente, en la cuarta etapa basada en la validación, se realizaron pruebas funcionales en diversos entornos. Estas pruebas evaluaron aspectos críticos como la detección de obstáculos, la precisión de los sensores, la respuesta de los actuadores y la estabilidad de la conexión con la aplicación móvil.

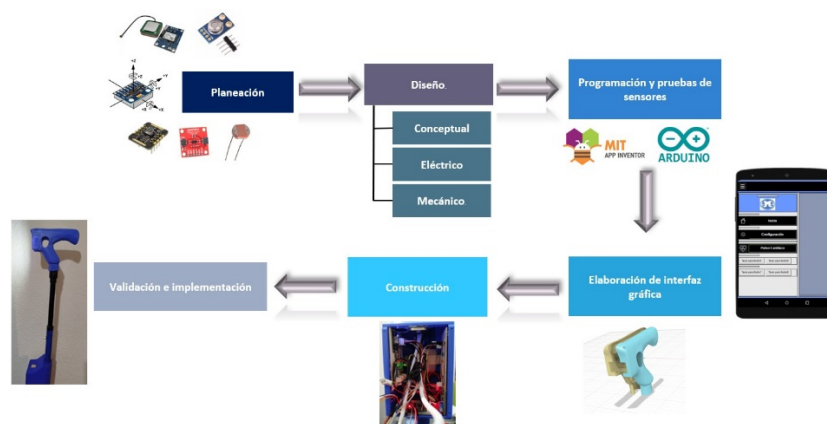


Figura 1. Diagrama esquemático de las etapas del desarrollo del bastón, resaltando las actividades clave en cada fase.

## Desarrollo experimental

El desarrollo del bastón inteligente se llevó a cabo siguiendo una metodología estructurada en varias etapas, cada una de ellas diseñada para garantizar la funcionalidad y la eficiencia del dispositivo. Estas etapas incluyen: planeación, diseño, programación y prueba de sensores, construcción y validación.

## Planeación

En esta etapa inicial, se definieron los objetivos generales y específicos del proyecto, considerando las necesidades del usuario y los requerimientos técnicos. Se realizó una investigación preliminar para identificar los sensores, actuadores y el microcontrolador más adecuado, teniendo en cuenta factores como precisión, costo y disponibilidad. Como resultado, se seleccionaron sensores que satisfacen las necesidades principales y el microcontrolador ESP32 DevKit debido a su versatilidad y compatibilidad.

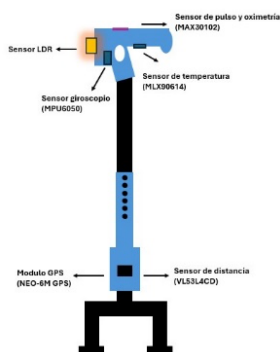


Figura 2. Diseño conceptual del bastón para usuario con discapacidad motriz con la localización determinada de los sensores.

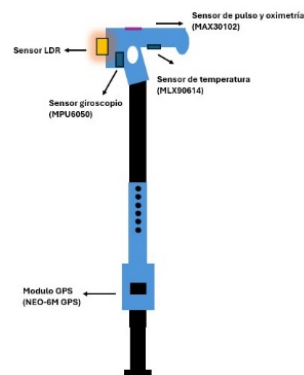


Figura 3. Diseño conceptual del bastón para usuario con discapacidad visual con la localización determinada de los sensores.

## Diseño

El diseño del bastón se dividió en tres niveles:

- **Diseño conceptual:** Se seleccionó el protocolo ESP-NOW como medio principal de comunicación para transmitir los datos del bastón a un receptor. Este protocolo fue elegido por su fiabilidad, soporte en plataformas y por su capacidad para integrarse con la red Wifi del ESP32 DevKit. Además, mediante el diseño 3D se elaboró un receptor para el medio de comunicación.
- **Diseño eléctrico:** Se diseñaron los circuitos electrónicos considerando las necesidades de alimentación, comunicación entre sensores y actuadores, y protección contra fallos.
- **Diseño mecánico:** Se desarrollaron planos para un bastón liviano y resistente, utilizando materiales como PVC y PLA pues mediante el diseño 3D se realizó un mango ergonómico y una base para alojar los sensores.

## Construcción del bastón

El diseño y construcción del bastón se centró en crear un dispositivo ergonómico, funcional y ligero para el usuario. La estructura del bastón se fabricó utilizando materiales livianos como plásticos de alta resistencia, lo que permite mantener la durabilidad sin comprometer la comodidad del usuario.

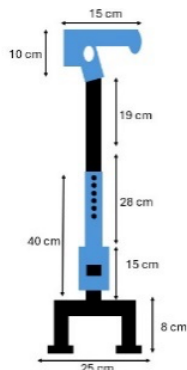


Figura 4. Diseño y medidas determinadas para el bastón.

La construcción incluyó los siguientes pasos:

- **Fabricación del mango del bastón:** El mango del bastón fue diseñado mediante plastilina para que de manera ergonómica se acoplara a la mano, posteriormente se escaneó y diseñó para que se introduzcan los sensores seleccionados.

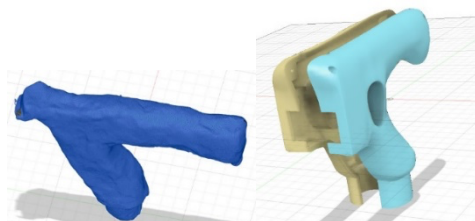


Figura 5. Diseño del mango del bastón mediante Fusion 360.

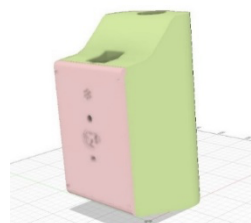


Figura 6. Diseño de la base del bastón mediante Fusion 360.

- **Fabricación del cuerpo del bastón:** El bastón fue diseñado con un eje central hueco para alojar los circuitos electrónicos, debido a que se seleccionó el tubo PVC como material principal. Además de una base la cual alberga dos sensores y el microcontrolador.
- **Integración de los sensores y actuadores:** Se ensamblaron los circuitos electrónicos que integran los sensores junto con los actuadores para alertar al usuario. Los sensores fueron colocados estratégicamente en el bastón para maximizar su efectividad, como el sensor ultrasónico en la parte inferior para la detección de obstáculos o el sensor de temperatura en la empuñadura.
- **Montaje del microcontrolador y batería:** El microcontrolador se ubicó en una caja de protección dentro del bastón, junto con la batería recargable, para alimentar el sistema y controlar los datos de los sensores.
- **Diseño de la interfaz gráfica en MIT App Inventor:** Se desarrolló una interfaz gráfica simple para visualizar los datos recolectados por los sensores y permitir la configuración del sistema de alertas.

## Diseño de la interfaz gráfica

Para el desarrollo de la interfaz gráfica del sistema, se utilizó MIT App Inventor, un entorno de desarrollo visual basado en bloques que permite crear aplicaciones móviles de forma intuitiva. Este entorno fue complementado con elementos de diseño externo para optimizar la presentación visual y la interacción con el usuario. El enfoque empleado facilitó la personalización de los controladores e indicadores, adaptándolos

a las necesidades específicas del proyecto y a las características particulares de los sensores integrados en el bastón inteligente.

La personalización tuvo como objetivo principal mejorar la experiencia del usuario y la comprensión de los datos adquiridos. Para ello, se diseñaron interfaces visuales intuitivas y funcionales, en las que cada componente presenta de forma clara y accesible la información proveniente de los sensores.

La interfaz desarrollada permite visualizar y gestionar múltiples parámetros obtenidos de los sensores incorporados en el bastón inteligente. Entre los componentes principales se incluyen:

- **Registro de usuario e inicio de sesión:** Destinado a la autenticación del usuario, permite almacenar sus datos personales y acceder de forma segura a la aplicación. Facilita la personalización del sistema y el seguimiento individual de la información médica.
- **Módulo GPS:** Muestra en tiempo real la ubicación geográfica del usuario, utilizando coordenadas precisas que se representan en un mapa interactivo apoyado en Google Maps.
- **Monitor de pulso y oxigenación:** Visualiza las mediciones de la frecuencia cardíaca y la saturación de oxígeno en sangre, así como un indicador de cada pulsación.
- **Sensor de temperatura:** Integra un rango de indicadores que refleja las mediciones de la temperatura corporal.
- **Sensor LDR (resistencia dependiente de luz):** Permite monitorear las condiciones de iluminación del entorno.
- **Giroscopio:** Incluye un indicador interactivo que se muestra al superar el umbral determinado para detectar posibles caídas. La interfaz gráfica en la Figura 7, combina funcionalidad y personalización, promoviendo una experiencia de usuario mejorada y maximizando el potencial de los sensores integrados en el bastón inteligente.

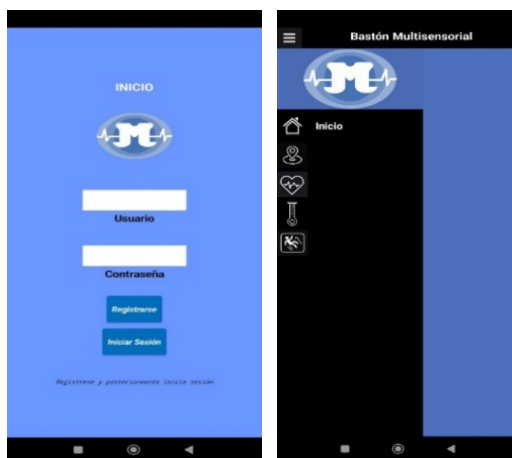


Figura 7. Diseño de la aplicación móvil.

### *Programación y prueba de sensores*

Se desarrolló el código necesario para adquirir y procesar los datos de los sensores desde MIT App Inventor, asegurando una comunicación efectiva con el microcontrolador mediante protocolos ESP-NOW. La configuración de los sensores incluyó:

- Calibración del sensor de movimiento para establecer un umbral óptimo de detección de obstáculos.
- Configuración de los sensores de temperatura y frecuencia cardíaca para emitir alertas al superar valores críticos.
- El ESP32 DevKit fue configurado como un servidor ESP-NOW, transmitiendo datos de los sensores en paquetes organizados.

- Los registros ESP-NOW fueron definidos para cada sensor, asegurando que las lecturas de parámetros como la saturación de oxígeno (MAX30102) y la distancia (HCSR04) se enviaran de forma estructurada.

Se realizaron pruebas unitarias para verificar el funcionamiento independiente de cada sensor y actuador. Posteriormente, se llevaron a cabo pruebas integradas, asegurando una interacción adecuada entre hardware y software.

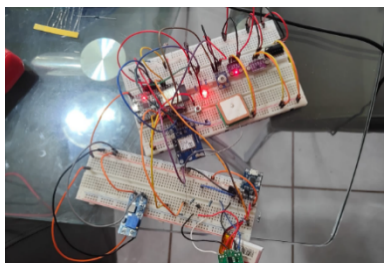


Figura 8. Prueba de sensores desde la protoboard.

## Validación

Se realizaron pruebas funcionales en entornos simulados y reales para evaluar el desempeño del bastón bajo diferentes condiciones. Estas pruebas incluyeron:

- Evaluación de la detección de obstáculos en diferentes distancias y ángulos.
- Pruebas de los sensores de salud en condiciones controladas y reales.
- Validación de la respuesta de los actuadores ante señales de alerta.
- Pruebas para verificar la estabilidad de la conexión Wifi y la precisión de los datos transmitidos por ESP-NOW.

## Discusión y análisis de resultados

### Resultados y Análisis del sensor MLX90614

Tabla 1. Mediciones de temperatura.

| No. de Medición | Temperatura (C) |
|-----------------|-----------------|
| 1.              | 36.30           |
| 2.              | 36.50           |
| 3.              | 36.28           |
| 4.              | 36.16           |
| 5.              | 36.70           |

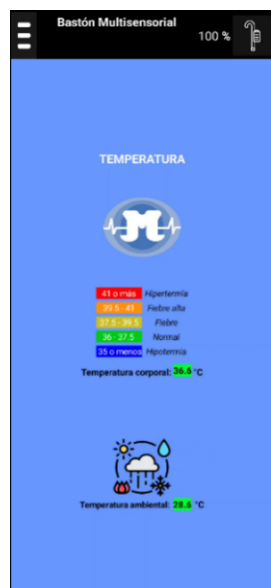


Figura 9. Visualización del registro de actividad de la temperatura.

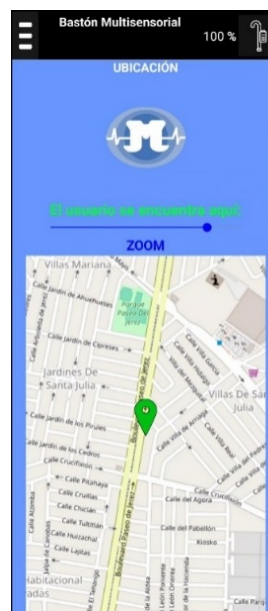


Figura 10. Visualización del registro de ubicación.

### *Resultados y Análisis del sensor GPS*

Dado que el bastón es comúnmente utilizado por personas de edad avanzada, quienes suelen experimentar pérdida de memoria y desorientación, se ha incorporado un sensor GPS como solución para mejorar la ubicación del usuario. Este sensor ha demostrado ser altamente preciso al determinar la ubicación geográfica. Durante las pruebas, se utilizó Google Maps como herramienta de referencia, obteniendo resultados consistentes con la ubicación real. La precisión del sensor se verifica al comparar las coordenadas proporcionadas por el GPS con las mostradas en el mapa, las cuales coincidieron de manera exacta. El sensor GPS tiene la capacidad de conectarse con al menos cuatro satélites, lo que permite obtener una señal de ubicación confiable. La conexión con múltiples satélites mejora la precisión de la medición, ya que la triangulación de las señales permite calcular las coordenadas con mayor exactitud.

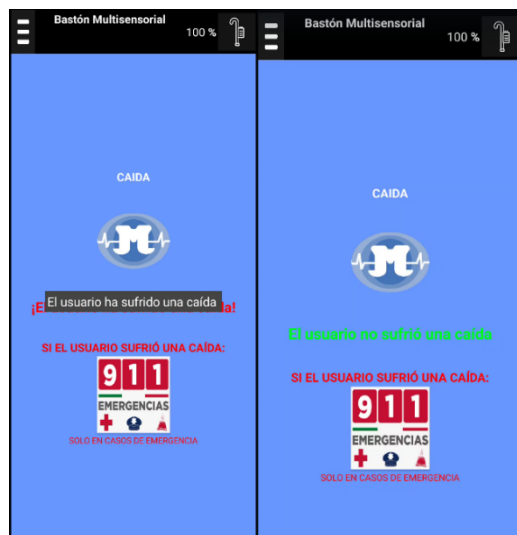
### *Resultados y Análisis del sensor de distancia VL5310X*

Ante situaciones de poca visibilidad se busca satisfacer en su totalidad las necesidades y situaciones que presenta el usuario, motivo por el cual se utiliza el sensor

**Tabla 2.** Estados del buzzer según la distancia y el tiempo de emisión.

| No. de Medición | Distancia (m) | Estado del Buzzer          |
|-----------------|---------------|----------------------------|
| 1.              | 0.25          | Activado (obstáculo)       |
| 2.              | 0.32          | Apagado (dentro del rango) |
| 3.              | 0.40          | Activado (hueco)           |
| 4.              | 0.35          | Apagado (dentro del rango) |
| 5.              | 0.29          | Activado (obstáculo)       |
| 6.              | 0.38          | Activado (hueco)           |
| 7.              | 0.33          | Apagado (dentro del rango) |
| 8.              | 0.27          | Activado (obstáculo)       |
| 9.              | 0.36          | Apagado (dentro del rango) |
| 10.             | 0.42          | Activado (hueco)           |
| 11.             | 0.31          | Apagado (dentro del rango) |
| 12.             | 0.28          | Activado (obstáculo)       |
| 13.             | 0.34          | Apagado (dentro del rango) |

### Resultados y Análisis del sensor de acelerómetro y giroscopio



**Figura 11.** Visualización del registro de caída desde la interfaz gráfica.

Uno de los elementos más importantes que caracteriza a este proyecto es la implementación del sistema ante caídas con ayuda del sensor de acelerómetro y giroscopio, para ello se sometió a pruebas para establecer el umbral de aceleración en el cual se somete al bastón en la situación de caída.

**Tabla 3.** Mediciones de ángulos y estado del buzzer para detección de caídas.

| No. de Medición | Ángulo (°) | Estado del Buzzer | Evento detectado          |
|-----------------|------------|-------------------|---------------------------|
| 1.              | 89.7       | Apagado           | Ninguno                   |
| 2.              | 91.2       | Apagado           | Ninguno                   |
| 3.              | 65.0       | Activado          | Inicio de caída           |
| 4.              | 72.5       | Activado          | Caída confirmada          |
| 5.              | 74.3       | Activado          | Caída confirmada          |
| 6.              | 85.0       | Apagado           | Fin de caída (recuperado) |
| 7.              | 88.6       | Apagado           | Ninguno                   |
| 8.              | 93.1       | Apagado           | Ninguno                   |
| 9.              | 66.9       | Activado          | Inicio de caída           |
| 10.             | 60.0       | Activado          | Caída confirmada          |
| 11.             | 90.4       | Apagado           | Fin de caída (recuperado) |

### *Resultados y análisis del sensor LDR (light dependent resistor)*

Como se ha mencionado anteriormente, las personas invidentes y aquellas que utilizan bastones pueden ser víctimas de atropellos debido a que los automovilistas no logran detectarlas, especialmente en condiciones de baja luminosidad. Además, necesitan un apoyo visual que les permita desplazarse con mayor seguridad en entornos oscuros o con iluminación deficiente. Para abordar esta problemática, se implementó una linterna automatizada controlada por un sensor LDR (resistor dependiente de la luz), cuyo objetivo es ajustar el encendido de la luz según el nivel de luz ambiental.

El sensor LDR se configuró para medir el nivel de luz en milivoltios (mV), a partir de la conversión de señales analógicas mediante el ADC del ESP32. Con base en estas lecturas, se definieron varios rangos de operación:

- Cuando el nivel de luz es igual o inferior a 850 mV, la linterna se activa en su modo de mayor intensidad.
- Si el valor se encuentra entre 851 y 950 mV, se activa en un modo intermedio.
- En el rango de 951 a 1199 mV, la linterna opera en un modo de baja intensidad.
- Finalmente, si el valor supera los 1200 mV, la linterna se apaga, al considerar que la iluminación ambiental es suficiente.

Estos umbrales fueron determinados tras realizar múltiples pruebas en diversas condiciones de iluminación, buscando una respuesta óptima y adaptativa del sistema. Durante el análisis experimental, se observó que el comportamiento de la linterna fue adecuado en la mayoría de los escenarios evaluados, reaccionando de manera efectiva y en tiempo real al nivel de luz disponible.



Figura 12. Funcionamiento de la linterna.

### *Resultados y análisis del sensor de oximetría y pulso cardiaco*

Integrar un pulsómetro en el bastón representa una innovación notable, especialmente en personas mayores o aquellas con condiciones de salud preexistentes. Este diseño proporciona una herramienta de monitoreo continuo y no invasivo. La principal ventaja de este sistema es la comodidad y accesibilidad que ofrece, ya que el usuario puede obtener mediciones mientras realiza sus actividades cotidianas.

**Tabla 4.** Mediciones de BPM y SpO2.

| No. de Medición | BPM | Spo2 | Estado de la medición |
|-----------------|-----|------|-----------------------|
| 1.              | 90  | 100  |                       |
| 2.              | 95  | 100  |                       |
| 3.              | 98  | 100  |                       |
| 4.              | 99  | 100  |                       |
| 5.              | 99  | 100  |                       |
| 6.              | 101 | 100  | Taquicardia detectada |
| 7.              | 96  | 100  |                       |
| 8.              | 97  | 100  |                       |
| 9.              | 98  | 100  |                       |
| 10.             | 95  | 100  |                       |

Las mediciones obtenidas de la frecuencia cardíaca en pulso por minuto (BPM) y la saturación de oxígeno en sangre (SpO2) de un conjunto de 10 mediciones. Todos los valores de SpO2 se mantuvieron en rangos saludables, entre el 96% y el 99%, lo que indica una adecuada oxigenación en la sangre durante el período de medición. En cuanto a las mediciones de BPM, se observaron fluctuaciones dentro de un rango entre 68 y 90 BPM, lo cual es normal para un adulto en reposo, considerando que los valores de referencia para una persona en reposo oscilan entre 60 y 100 BPM.

La consistencia de los datos muestra que la mayoría de las mediciones fueron estables, reflejando la fiabilidad del sensor en condiciones normales.



Figura 14. Visualización del BPM y SpO2 desde la interfaz gráfica.

## Conclusiones

El proyecto de diseño e implementación de un bastón multisensorial para personas con discapacidades visuales y movilidad reducida representa un esfuerzo multidisciplinario orientado a la integración de tecnologías accesibles, comunicación inalámbrica eficiente y soluciones móviles intuitivas. Los resultados obtenidos evidencian la capacidad del sistema para cubrir de forma integral necesidades clave como la movilidad asistida, el monitoreo de parámetros fisiológicos y la seguridad personal, promoviendo la autonomía e inclusión digital de poblaciones vulnerables.

Desde una perspectiva crítica, el desarrollo refleja una planificación coherente y una adecuada selección de tecnologías, destacando el uso del microcontrolador ESP32 DevKit con el protocolo de comunicación inalámbrica ESP-NOW, el cual ofrece una transmisión de datos rápida, estable y sin necesidad de una red Wifi tradicional. Esta elección fortalece la confiabilidad del sistema en entornos con conectividad limitada.

La implementación de MIT App Inventor como interfaz gráfica permitió crear una aplicación móvil funcional y personalizada, que presenta los datos de los sensores en tiempo real de forma clara y accesible para el usuario. Esta herramienta también facilitó la incorporación de funciones como el registro de usuario, alertas visuales y monitoreo geoespacial, mejorando así la interacción con el dispositivo.

Asimismo, el uso de materiales de bajo costo y la posibilidad de manufactura local constituyen una fortaleza relevante, alineada con el objetivo de generar un producto económicamente viable. La inclusión de sensores biomédicos proporciona datos críticos para la detección temprana de emergencias médicas; sin embargo, se sugiere continuar evaluando la sensibilidad y precisión de estas mediciones, especialmente en personas con enfermedades crónicas o múltiples comorbilidades.

En conclusión, los resultados experimentales obtenidos se ajustan a lo previsto, demostrando una buena consistencia en las mediciones de los sensores, con valores dentro de rangos normativos. Esto respalda la funcionalidad y precisión del sistema propuesto, validando la viabilidad del uso de ESP-NOW y MIT App Inventor como soluciones efectivas para el desarrollo de tecnologías asistenciales.

## Agradecimiento

Al Dr. Huetzin Aarón Pérez Olivas, por su valiosa orientación en la implementación de la comunicación inalámbrica. Además, agradecemos su apoyo constante durante las etapas de impresión 3D, lo cual fue fundamental para la construcción del prototipo.

Al Ing. Mario Enrique Náchez Sánchez, por facilitarnos un espacio de trabajo y colaborar activamente en la construcción física del proyecto.

Al estudiante y modelador 3D Mario Ángel Náchez Sánchez, por su apoyo en el diseño de los componentes estructurales del prototipo.

Al estudiante de la institución Jacob Sierra Lemus, por su apoyo en el escaneo de los componentes estructurales del prototipo.

Al Sr. Javier García Gómez, por su valiosa orientación en la concepción de la idea y el planteamiento del funcionamiento del bastón.

Finalmente agradecemos el respaldo de la División de Ciencias e Ingenierías del Campus León de la Universidad de Guanajuato, que permitió el desarrollo integral de este proyecto. Bibliografía/Referencias

## Anexo: Componentes electrónicos

### *Sensor de oximetría y pulso cardiaco*

Como se muestra en la Figura 16 el sensor MAX30102 nos permite medir niveles de oxigenación y las pulsaciones por minuto del usuario, dicho sensor nos permite monitorizar de manera constante estos parámetros, su relevancia se debe al público al que se dirige el bastón, personas con alguna discapacidad visual o motriz, y adultos mayores; cuando se llega a la tercera edad es común la aparición de enfermedades cardiovasculares y pulmonares, es de vital relevancia el monitoreo de la salud ante estos escenarios, este sensor nos permite dar alerta ante alguna deficiencia del sistema cardiorrespiratorio. El MAX30102 dentro del diseño está contemplado estar instalado en la empuñadura del bastón, en la zona inferior.

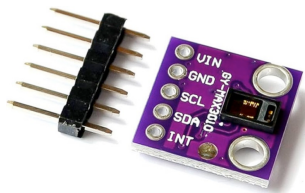


Figura 16. MAX30102.

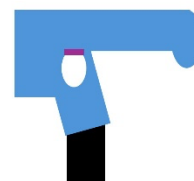


Figura 17. Sensor MAX30102 implementado en la empuñadura.

### *Sensor de temperatura*

El sensor MLX90614 se emplea para la medición de temperatura sin contacto, utilizando tecnología infrarroja para detectar la radiación térmica emitida por los objetos, como se muestra en la Figura 18. Este sensor permite registrar la temperatura corporal del usuario en tiempo real, lo cual es especialmente útil para el monitoreo de su estado de salud durante el uso del bastón.

Gracias a su precisión y rapidez, el MLX90614 ofrece una lectura confiable sin necesidad de contacto físico, lo que resulta ideal para situaciones en las que se requiere higiene y comodidad, como en el caso de personas con movilidad reducida o condiciones médicas sensibles.

En el diseño del bastón, el sensor MLX90614 está colocado en una posición orientada hacia el usuario, generalmente cerca de la empuñadura, para permitir la lectura directa de la temperatura corporal sin interferencias externas.



Figura 18. MLX90614.

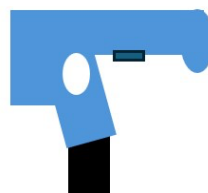


Figura 19. Sensor LM35 incorporado en la empuñadura.

### *Sensor de distancia*

El sensor VL5310X se utiliza para la detección de obstáculos mediante la tecnología de tiempo de vuelo (Time-of-Flight), que calcula la distancia midiendo el tiempo que tarda un haz de luz láser infrarrojo en reflejarse en un objeto y regresar al sensor, como se muestra en la Figura 18. Este sensor permite medir la distancia precisa entre el bastón y los objetos cercanos, alertando al usuario sobre obstáculos potenciales en su camino.

Dentro del diseño del bastón, el VL5310X está ubicado en la parte frontal inferior, orientado 20 grados hacia abajo, con el fin de garantizar una detección óptima de obstáculos en el trayecto del usuario.

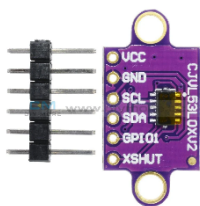


Figura 20. VL5310X.

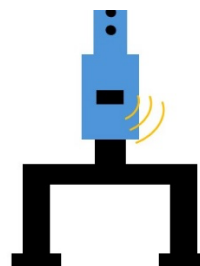


Figura 21. Sensor VL5310X implementado en el bastón.

## Módulo GPS

Se muestra el módulo GPS NEO-6M, el cual permite determinar la ubicación geográfica del usuario en tiempo real. Este dispositivo es esencial para enviar la posición del usuario a familiares o cuidadores en situaciones de riesgo, como caídas o desorientación durante sus desplazamientos.

En el diseño del bastón, el módulo NEO-6M estará ubicado en la parte inferior de la estructura, en el compartimento declarado como base, lo que asegura una óptima recepción de la señal satelital y facilita la transmisión precisa de la ubicación.



Figura 20. NEO6M-GPS.

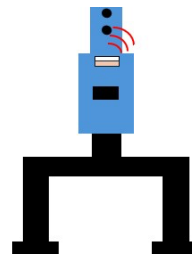


Figura 21. Sensor VL53L4CD implementado en el bastón.

## Giroscopio y acelerómetro

El MPU6050 de la Figura 22 es un módulo que combina un giroscopio de 3 ejes y un acelerómetro de 3 ejes, lo que permite medir tanto la orientación como las aceleraciones del bastón. Este sensor es clave para detectar caídas del usuario o movimientos bruscos que puedan indicar situaciones de peligro.

El MPU6050 se colocará en la parte superior del bastón, lo que permite monitorear los movimientos realizados por el usuario y detectar anomalías en su actividad.

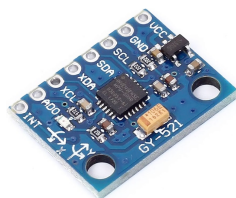


Figura 22. MPU6050.

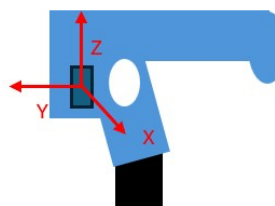


Figura 23. Sensor MPU6050 ubicado en la empuñadura del bastón.

## Sensor de luz

El sensor LDR es un sensor de luz que mide la intensidad luminosa del ambiente, este se muestra en la Figura 26. Este sensor se utiliza para activar una linterna incorporada en el bastón en condiciones de baja iluminación, mejorando la seguridad del usuario durante desplazamientos nocturnos o en lugares oscuros. El sensor LDR estará ubicado en la parte superior del bastón, orientado hacia el entorno para captar con precisión la cantidad de luz ambiente.



Figura 26. LDR (Light Dependent Resistor).

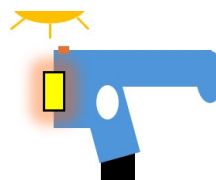


Figura 27. Sensor LDR instalado en el bastón.

## Bibliografía/Referencias

- [1] CONAPRED. (2017, diciembre). ENADIS 2017: Resultados sobre personas con discapacidad. <https://www.conapred.org.mx>
- [2] Hernández Castillo, A. G. (2021, abril 13). Uso correcto del bastón. [https://sitios1.dif.gob.mx/Rehabilitacion/docs/tele-rehabilitacion/Uso\\_correcto\\_baston.pdf](https://sitios1.dif.gob.mx/Rehabilitacion/docs/tele-rehabilitacion/Uso_correcto_baston.pdf)
- [3] Raitor, M. J., & Slade, P. (2024). Stanford researchers build \$400 self-navigating smart cane. <https://hai.stanford.edu/news/stanford-researchers-build-400-self-navigating-smart-cane> (<https://hai.stanford.edu/news/stanford-researchers-build-400-self-navigating-smart-cane>)
- [4] Abu-Abdoun, D. I., Alsyouf, I., Mushtaha, E., Ibrahim, I., & Al-Ali, M. (2022). Developing and designing an innovative assistive product for visually impaired people: Smart cane. En 2022 *Advances in Science and Engineering Technology International Conferences (ASET)*, 1–6. <https://doi.org/10.1109/ASET53988.2022.9734902>
- [5] IEEE Conference Publication. (2024). S-Cane: Ultrasonic sensor-based smart cane for the visually impaired. <https://ieeexplore.ieee.org/document/10390939> (<https://ieeexplore.ieee.org/document/10390939>)
- [6] SeeMeCane. (s. f.). See me cane. <https://www.seemecane.com/>
- [7] Álvarez, R. (2019, noviembre 16). weWALK, el bastón para invidentes equipado con Google Maps, altavoz y que se puede enlazar a un smartphone. <https://www.xataka.com/wearables/wewalk-baston-para-invidentes-equipado-google-maps-altavoz-que-se-puede-enlazar-a-smartphone> (<https://www.xataka.com/wearables/wewalk-baston-parainvidentes-equipado-google-maps-altavoz-que-se-puede-enlazar-a-smartphone>)
- [8] Comunicacion. (2022, 21 junio). Estudiante del Tec de Tuxtla diseña bastón inteligente – Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez. <https://www.tuxtla.tecnm.mx/estudiante-del-tec-de-tuxtla-disena-baston-inteligente/#:~:text=%E2%80%9CDonar%C3%A1%205%20ejemplares%20al%20DIF%20de%20Chiapas%E2%80%9D&text=A%20diferencia%20del%20bast%C3%B3n%20convencion al,que%20avisara%20de%20cualquier%20riesgo%E2%80%9D.&text=Esta%20entrada%20f ue%20publicada%20en,a%20marcadores%20el%20enlace%20permanente.>
- [9] Adafruit Industries. (s.f.). Adafruit MLX90614 Library. GitHub. <https://github.com/adafruit/Adafruit-MLX90614-Library>
- [10] Adafruit Industries. (s.f.). Adafruit VL53L0X Library. GitHub.

[https://github.com/adafruit/Adafruit\\_VL53L0X](https://github.com/adafruit/Adafruit_VL53L0X)

- [11] Adafruit Industries. (s.f.). Adafruit MPU6050 Library. GitHub.  
[https://github.com/adafruit/Adafruit\\_MPU6050](https://github.com/adafruit/Adafruit_MPU6050)
- [12] Arduino. (s.f.). Wire - I2C communication. Arduino Reference.  
<https://www.arduino.cc/en/Reference/Wire>
- [13] Espressif Systems. (2024). ESP32 Technical Reference Manual (Version 4.8).  
<https://www.espressif.com/en/support/download/technical-documents>
- [14] Hart, M. (s.f.). TinyGPS++ Library. GitHub. <https://github.com/mikalhart/TinyGPSPPlus>
- [15] Melexis. (2021). MLX90614 Infrared Thermometer – Datasheet.  
<https://www.melexis.com/en/documents/documentation/datasheets/datasheet-mlx90614>
- [16] Pololu Corporation. (s.f.). VL53L0X Time-of-Flight Distance Sensor Carrier with Voltage Regulator. <https://www.pololu.com/product/2490>
- [17] SparkFun Electronics. (s.f.). MAX30105 Particle Sensor Hookup Guide. Learn.sparkfun.com.  
<https://learn.sparkfun.com/tutorials/max30105-particle-sensor-hookup-guide>
- [18] STMicroelectronics. (2018). VL53L0X Datasheet.  
<https://www.st.com/resource/en/datasheet/vl53l0x.pdf>
- [19] British Heart Foundation. (s.f.). Pulse rate. Heart Matters Magazine.  
<https://www.bhf.org.uk/information-support/heart-matters-magazine/medical/ask-the-experts/pulse-rate>
- [20] Medical News Today. (s.f.). Temperatura normal del cuerpo: ¿Cuál es y cuándo preocuparse?  
<https://www.medicalnewstoday.com/articles/es/temperatura-normal-del-cuerpo#adultos>
- [21] MedlinePlus. (s.f.). Pulsioximetría: MedlinePlus pruebas de laboratorio.  
<https://medlineplus.gov/spanish/pruebas-de-laboratorio/pulsioximetria/>
- [22] MedlinePlus. (s.f.). Uso de un bastón: MedlinePlus enciclopedia médica.  
<https://medlineplus.gov/spanish/ency/patientinstructions/000343.htm>(<https://medlineplus.gov/spanish/ency/patientinstructions/000343.htm>)
- [23] Universidad de Stanford. (2024). Autonomous robotic cane for navigation. *Journal of Assistive Robotics*, 12(3).
- [24] Fricke, T. R., Tahhan, N., Resnikoff, S., Papas, E., Burnett, A., Ho, S. M., Naduvilath, T., & Naidoo, K. S. (2018). Global prevalence of presbyopia and vision impairment from uncorrected presbyopia. *Ophthalmology*, 125(10), 1492–1499.  
<https://doi.org/10.1016/j.ophtha.2018.04.013>
- [25] Bournet, A. (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). [https://www.thelancet.com/journals/langlo/article/PIIS2214-109X\(17\)30293-0/fulltext?uuiid=ezRypWhlesimRf2q0082](https://www.thelancet.com/journals/langlo/article/PIIS2214-109X(17)30293-0/fulltext?uuiid=ezRypWhlesimRf2q0082)