

PROTOTIPO DE BASTÓN INTELIGENTE PARA PERSONAS CON DISCAPACIDAD VISUAL: DISEÑO, IMPLEMENTACIÓN Y EVALUACIÓN

SMART CANE PROTOTYPE FOR PEOPLE WITH VISUAL IMPAIRMENT: DESIGN, IMPLEMENTATION AND EVALUATION

Castañeda Fierro Francisco

TecNM/Instituto Tecnológico de Ciudad Juárez
<https://orcid.org/0009-0005-1858-5996>
francisco.cf@cdjuarez.tecnm.mx

López Fierro Gerardo

TecNM/Instituto Tecnológico de Ciudad Juárez
<https://orcid.org/0000-0002-3847-0554>
Gerardo.lf@cdjuarez.tecnm.mx

González Muñoz Miriam Magdalena

TecNM/Instituto Tecnológico de Ciudad Juárez
<https://orcid.org/0009-0006-1163-5847>
miriam.gm@cdjuarez.tecnm.mx

Camarillo Delgadillo José Mario

TecNM/Instituto Tecnológico de Ciudad Juárez
<https://orcid.org/0000-0003-1446-8950>
jose.cd@cdjuarez.tecnm.mx

Gutiérrez Aguayo Victoria Lucia

TecNM/Instituto Tecnológico de Ciudad Juárez
<https://orcid.org/0000-0002-3847-0554>
L18111752@cdjuarez.tecnm.mx

DOI: <https://doi.org/10.61273/neyart.v1i2.128>

| Recibido: 28/08/2023 | Aceptado: 02/10/2025 | Publicado: 03/11/2025

Esta obra está bajo
una licencia internacional
Creative Commons Atribución 4.0.



Resumen-- Este artículo describe el diseño, implementación y validación experimental de un bastón inteligente orientado a personas con discapacidad visual, con base en un sistema electrónico integrado. El prototipo incorpora un sensor ultrasónico (HC-SR04) para la detección de irregularidades en el terreno y obstáculos en la vía pública. La señal es procesada por un microcontrolador Arduino Nano y transformada en una señal vibratoria que alerta al usuario sobre la presencia de obstáculos. El dispositivo también incluye una tira de luces LED tipo Neopixel controlada mediante un sensor de luz (LDR), que se activa automáticamente en condiciones de baja iluminación para que el usuario pueda ser visto por otros peatones. Además, cuenta con un sistema de alerta sonora que se activa cuando el bastón se le cae de la mano, facilitando su localización. El proceso de desarrollo se organizó utilizando una metodología basada en prototipos y planificación por resultados clave (OKR), lo que permitió una ejecución estructurada y eficiente. Las pruebas realizadas en entornos urbanos simulados validaron el funcionamiento del sistema, destacando su utilidad como herramienta accesible para apoyar la movilidad independiente en contextos con infraestructura deficiente.

Palabras clave: Discapacidad visual, bastón inteligente, sensor ultrasónico, Arduino, accesibilidad.

Abstract-- This article describes the design, implementation, and experimental validation of a smart cane for people with visual impairments, based on an integrated electronic system. The prototype incorporates an ultrasonic sensor (HC-SR04) for the detection of terrain irregularities and obstacles on public roads. The signal is processed by an Arduino Nano microcontroller and transformed into a vibration signal that alerts the user to the presence of obstacles. The device also includes a Neopixel LED light strip controlled by a light sensor (LDR), which automatically activates in low light conditions to improve the visibility of the user by other pedestrians. It also has an audible alert system that activates when the cane falls from his hand, making it easier to locate. The development process was organized using a methodology based on prototypes and key results-based planning (OKR), which allowed for a structured and efficient execution. Tests conducted in simulated urban environments validated the system's operation, highlighting its usefulness as an accessible tool to support independent mobility in contexts with poor infrastructure.

Keywords: Visual impairment, smart cane, ultrasonic sensor, Arduino, accessibility.

INTRODUCCIÓN

La discapacidad visual, definida como la pérdida total o parcial de la capacidad de ver, afecta significativamente la calidad de vida de quienes la padecen, limitando su autonomía y aumentando su exposición a riesgos en entornos urbanos no adaptados. En México, de acuerdo con datos del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI, 2020), una parte considerable de la población con discapacidad presenta dificultades visuales, siendo Chihuahua uno de los estados con mayor incidencia. En particular, Ciudad Juárez enfrenta un problema grave de infraestructura urbana deficiente, caracterizada por banquetas irregulares, obstáculos fijos y escasa señalización vial, condiciones que agravan la movilidad de las personas con discapacidad visual (El Heraldo de Chihuahua, 2023; Borderzine, 2014).

Diversos trabajos previos han explorado el desarrollo de bastones inteligentes utilizando sensores ultrasónicos, vibradores, sistemas GPS y tecnologías abiertas o emergentes. Iniciativas como las de Tsormpatzoudis (2016) en la Universidad de Manchester, Slade, Tambe y Raitor (2021) en Stanford, y proyectos nacionales como el de Ontiveros, Rojas y Martínez (2014), sentaron precedentes importantes en el diseño de dispositivos orientados a mejorar la movilidad de personas con discapacidad visual. Estas experiencias han servido como base e inspiración para el presente trabajo, que apuesta por una solución de bajo costo, accesible y adaptada a contextos urbanos marginados.

Diversos proyectos han explorado la implementación de la inteligencia artificial para optimizar las funciones del bastón (Ontiveros, Rojas & Martínez, 2014; Slade, Tambe & Raitor, 2021). No obstante, muchos de estos desarrollos presentan limitaciones de costo, complejidad técnica o disponibilidad en contextos marginados. Frente a esta problemática, el presente trabajo propone el diseño y validación de un bastón inteligente de bajo costo, basado en un microcontrolador Arduino Nano, capaz de alertar al usuario mediante vibración ante obstáculos cercanos, iluminar su posición en condiciones de baja visibilidad y emitir una señal sonora en caso de pérdida del bastón que guíe al usuario a su ubicación.

Este desarrollo busca responder a una necesidad concreta en la comunidad juarense, mediante una solución funcional, accesible y de fácil implementación que contribuya a la inclusión y seguridad de personas con discapacidad visual.

Objetivo general

Diseñar e implementar un prototipo funcional de bastón inteligente dirigido a personas con discapacidad visual, mediante la integración de un sensor ultrasónico (HC-SR04), un microcontrolador Arduino Nano, un actuador vibratorio, una tira LED tipo Neopixel controlada por una fotorresistencia (LDR), y un zumbador activo, todos alimentados por un sistema de baterías recargables y regulados mediante un módulo L78S05. El dispositivo debe de ser capaz de alertar al usuario sobre la presencia de obstáculos, mejorar su visibilidad en condiciones de poca luz y facilitar su localización, promoviendo una movilidad más segura y autónoma en entornos urbanos.

Objetivos específicos

- Diseñar el sistema electrónico del bastón inteligente utilizando un microcontrolador Arduino Nano y sensores adecuados para la detección de obstáculos y condiciones de iluminación.
- Implementar un mecanismo de retroalimentación vibratoria, activado por un sensor ultrasónico, que alerte al usuario de irregularidades en el terreno a corta distancia.
- Integrar un sistema de iluminación automática mediante una tira de LED (Neopixel) controlada por una fotorresistencia (LDR), que se active en condiciones de baja luminosidad para mejorar la visibilidad del usuario por otros peatones.
- Desarrollar un sistema de localización sonora, mediante un zumbador controlado por un botón de presencia, que se active cuando el usuario suelta el bastón, facilitando su recuperación.
- Diseñar y fabricar la carcasa del prototipo, considerando factores de ergonomía, resistencia al impacto y condiciones ambientales, mediante modelado CAD y manufactura aditiva (impresión 3D).
- Simular y validar el funcionamiento del circuito en plataformas como Tinkercad antes del ensamblaje físico, para asegurar la correcta integración de los componentes.
- Realizar el ensamblaje final del bastón inteligente e implementar pruebas funcionales para verificar la operación de todos los sistemas integrados en condiciones simuladas del entorno urbano.

Justificación

La pérdida de la visión representa una de las discapacidades sensoriales con mayor impacto en la calidad de vida de quienes la padecen, al limitar significativamente su interacción con el entorno y su autonomía (Organización Mundial de la Salud [OMS], 2020). A pesar de los avances tecnológicos, las soluciones

accesibles y asequibles para la movilidad segura de personas con discapacidad visual aún resultan insuficientes, especialmente en contextos urbanos con infraestructura deficiente como la de Ciudad Juárez, donde se ha identificado un alto índice de barreras físicas para este grupo poblacional (INEGI, 2020).

Ante este panorama, el presente proyecto propone el diseño y desarrollo de un bastón inteligente que integra sensores ultrasónicos para la detección de discontinuidades en el terreno y obstáculos, notificando al usuario mediante señales vibratorias. Además, el dispositivo incorpora una tira LED controlada por una fotorresistencia, lo que permite visibilizar al usuario en condiciones de baja luminosidad, y un sistema de alarma auditiva activada por botón, que facilita su localización en caso de extravío.

La innovación del prototipo radica en su accesibilidad económica, sin sacrificar funcionalidad, al estar basado en plataformas abiertas como Arduino. Se busca brindar una herramienta que no solo mejore la movilidad del usuario, sino que también promueva su independencia y seguridad al transitar por la vía pública, aspecto clave en el ejercicio del derecho a una vida digna e inclusiva.

En comparación con desarrollos similares como los bastones de WeWalk (2017) o los modelos experimentales desarrollados en instituciones como la Universidad de Manchester (Tsormpatzoudis, 2016) o Stanford (Slade, Tambe & Raitor, 2021), este proyecto presenta una alternativa más viable en contextos de bajos recursos, sin depender de tecnologías propietarias o sistemas complejos de inteligencia artificial.

En suma, el bastón inteligente propuesto representa un avance tangible hacia la democratización de la tecnología asistiva, al integrar soluciones funcionales, económicas y adaptadas al entorno social y urbano del usuario objetivo.

DESARROLLO

El bastón blanco ha sido históricamente una herramienta fundamental para las personas con discapacidad visual, permitiéndoles interactuar con su entorno inmediato mediante el tacto. Sin embargo, su funcionalidad tradicional presenta limitaciones ante los desafíos actuales de movilidad urbana, especialmente en contextos como el de Ciudad Juárez, donde las banquetas irregulares, el alcantarillado expuesto y la falta de señalización adecuada generan riesgos significativos para esta población (Borderzine, 2014; INEGI, 2020).

En respuesta a esta problemática, se desarrolló un prototipo de bastón inteligente, cuyo fin es mejorar la experiencia de desplazamiento autónomo de personas invidentes mediante la integración de tecnologías

accesibles y de bajo costo. Este dispositivo fue diseñado con una estructura física ligera y resistente, complementada por una carcasa fabricada mediante impresión 3D, lo que garantiza su durabilidad en ambientes urbanos.

El sistema principal utiliza un sensor ultrasónico HC-SR04 para detectar discontinuidades u obstáculos en el camino del usuario. Esta información se traduce en señales vibratorias generadas por un motor localizado en el mango del bastón, facilitando una retroalimentación háptica inmediata (Cytron Technologies, 2013). Asimismo, el bastón incorpora una tira de luces LED tipo Neopixel, que se activa mediante una fotorresistencia LDR cuando detecta baja luminosidad, incrementando la visibilidad del usuario ante otros peatones o vehículos (La Bobina de Tesla, 2021).

Para reforzar la funcionalidad del dispositivo, se incluyó un buzzer piezoeléctrico controlado por un botón pulsador. Este emite una alarma audible en caso de extravío, lo que facilita su localización (Victoria Gutiérrez, 2023). Todos los componentes están integrados a una placa Arduino Nano, lo que permite el control y programación modular del sistema (Arduino.cc, 2023).

El diseño y simulación del circuito electrónico fueron realizados en Tinkercad, mientras que el diseño mecánico se desarrolló en SolidWorks, y la programación en Arduino IDE, utilizando librerías especializadas como EasyBuzzer.h, Adafruit_Neopixel.h y HCSR04.h. Estas herramientas permitieron la creación de un prototipo funcional, replicable y económicamente viable. En la figura 1 se muestra el diseño en SolidWorks realizado para el proyecto.



Figura1. *Diseño del bastón inteligente creado en SolidWorks.*

Fuente. *Elaboración propia (2025).*

DISCUSIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

Durante la fase de validación del prototipo, se realizaron pruebas funcionales en entornos controlados que simulaban condiciones urbanas como superficies irregulares, obstáculos comunes y baja iluminación. El

sensor ultrasónico HC-SR04 logró detectar objetos a distancias de entre 5 y 250 cm, activando con éxito el motor vibrador (Cytron Technologies, 2013). Esta retroalimentación háptica fue intuitiva y efectiva, cumpliendo su función sin interferir con otras capacidades sensoriales del usuario.

La fotorresistencia LDR, junto con la tira de LED Neopixel, funcionó correctamente al encenderse con niveles de luminosidad por debajo de 500 lux, aumentando la visualización del usuario en condiciones nocturnas o de penumbra, conforme a lo establecido en las normas de movilidad urbana para personas con discapacidad (Gobierno de México, 2016).

El sistema de localización por buzzer permitió recuperar el dispositivo en menos de 20 segundos en espacios cerrados, validando su utilidad como mecanismo de emergencia. El uso de un buzzer activo con oscilador interno facilitó su implementación eficiente con el microcontrolador (Victoria Gutiérrez, 2023). En cuanto al costo de producción, el prototipo no supera los 50 USD, muy por debajo de modelos comerciales como los desarrollados por WeWalk (2017) o Stanford (Slade, Tambe & Raitor, 2021), lo que refuerza su viabilidad como una herramienta accesible.

Estos resultados sugieren que el bastón cumple su propósito funcional: mejorar la autonomía, seguridad y visibilidad de los usuarios, con tecnología de bajo costo, sin sacrificar calidad ni eficiencia. En la figura 2 se muestra el bastón siendo manipulado durante las pruebas.



Figura 2. Utilización del bastón inteligente durante las pruebas de funcionamiento.

Fuente. Elaboración propia (2025).

CONCLUSIONES

El bastón inteligente diseñado responde a una necesidad real de las personas con discapacidad visual, particularmente en entornos urbanos adversos como el de Ciudad Juárez, donde la infraestructura no garantiza una movilidad segura (INEGI, 2020; Borderzine, 2014). A través de la implementación de

componentes electrónicos accesibles, como sensores ultrasónicos, LEDs, motores vibratorios y plataformas de código abierto, se logró desarrollar una herramienta funcional, económica y replicable.

Más allá de sus capacidades técnicas, este proyecto promueve la inclusión social y la autonomía del usuario. A diferencia de otras soluciones tecnológicas, el presente prototipo destaca por su simplicidad, accesibilidad y adaptabilidad. Además, establece un precedente para futuras mejoras, como la incorporación de módulos GPS, conectividad Bluetooth o integración con aplicaciones móviles, sin comprometer su carácter económico y socialmente responsable.

Este trabajo demuestra cómo la tecnología puede, desde un enfoque humanista e incluyente, mejorar la calidad de vida de grupos vulnerables, siempre que el diseño se centre en las necesidades reales del usuario y en el contexto donde será implementado.

TRABAJO A FUTURO

El desarrollo del bastón inteligente representa un avance significativo hacia la inclusión de personas con discapacidad visual en entornos urbanos adversos. No obstante, para ampliar su funcionalidad y su impacto en la sociedad, se proponen una serie de mejoras y ajustes futuros, tanto a nivel técnico como estratégico.

En primer lugar, se recomienda la incorporación de un módulo GPS con conectividad Bluetooth o Wi-Fi, que permita al usuario ubicar su posición en tiempo real y compartirla con familiares o cuidadores mediante una aplicación móvil. Esto facilitaría no solo la navegación, sino también la respuesta en caso de emergencias, incrementando la seguridad personal.

Otra mejora potencial es el uso de sensores de tipo LiDAR o cámaras con inteligencia artificial, que permitirían no solo detectar obstáculos, sino también identificarlos y clasificarlos (escalones, vehículos, personas, postes, etc.), como lo han propuesto prototipos desarrollados por instituciones como Stanford (Slade, Tambe & Raitor, 2021). Si bien esta tecnología incrementa el costo, puede pensarse en una versión avanzada del dispositivo para contextos institucionales, como asociaciones civiles o programas gubernamentales.

En cuanto a la ergonomía, se sugiere una revisión del diseño estructural del bastón para hacerlo más ligero, plegable y ajustable en longitud. Esto facilitaría su transporte y almacenamiento, mejorando su portabilidad en el contexto diario del usuario.

Desde el enfoque social, se recomienda vincular este proyecto con programas de inclusión y accesibilidad urbana, promoviendo convenios con instituciones públicas y organizaciones no gubernamentales para

facilitar su producción, distribución y capacitación en el uso del dispositivo. La articulación con políticas de movilidad, derechos humanos y salud pública podría amplificar su alcance e impacto social.

Finalmente, es indispensable considerar la creación de una guía didáctica en formato accesible (braille, audio, texto ampliado) para el uso y mantenimiento del bastón, asegurando que cualquier persona, independientemente de su grado de discapacidad visual, pueda aprovechar sus funciones con autonomía. Estas mejoras no sólo fortalecerían la funcionalidad del dispositivo, sino que también lo posicionarían como una herramienta tecnológica de transformación social, capaz de cerrar brechas en términos de equidad, seguridad y participación plena en el espacio público.

REFERENCIAS

- Adafruit Industries. (s.f.). *Adafruit NeoPixel Library Reference*. Recuperado de <https://learn.adafruit.com/adafruit-neopixel-uberguide>
- Arduino.cc. (2023). *Arduino Nano Overview*. Recuperado de <https://www.arduino.cc>
- Borderzine. (2014). *Personas con discapacidad visual enfrentan riesgos al caminar por Ciudad Juárez*. Recuperado de <https://borderzine.com>
- Cytron Technologies. (2013). *HC-SR04 Ultrasonic Sensor Technical Datasheet*. Recuperado de <https://www.cytron.io>
- EasyBuzzer. (s.f.). *EasyBuzzer Arduino Library*. Recuperado de <https://github.com/evert-arias/EasyBuzzer>
- El Heraldo de Chihuahua. (2023). *Personas con discapacidad enfrentan rezago y barreras en la infraestructura urbana*. Recuperado de <https://www.heraldodechihuahua.com.mx>
- Gobierno de México. (2016). *Normas de uso del bastón blanco para personas con discapacidad visual*. Recuperado de <https://www.gob.mx>
- Gutiérrez Aguayo, V. L. (2023). *Diseño y construcción de un bastón inteligente para personas invidentes [Tesis de licenciatura, Instituto Tecnológico de Ciudad Juárez]*. ITCJ.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2020). *Censo de Población y Vivienda 2020*. Recuperado de <https://www.inegi.org.mx>
- La Bobina de Tesla. (2021). *Circuito Pull-down con fotorresistencia*. Recuperado de <https://labobinadetesla.com>
- Ontiveros, M., Rojas, C., & Martínez, A. (2014). *Diseño y construcción de un bastón blanco electrónico para personas invidentes*. Instituto Tecnológico Superior de Huauchinango.

Organización Mundial de la Salud (OMS). (2020). *Informe mundial sobre la visión 2020*. Recuperado de <https://www.who.int>

Slade, P., Tambe, T., & Raitor, M. (2021). *Smart Cane Project*. Stanford University.

Tsormpatzoudis, C. (2016). *Smart Mobility Aid for the Visually Impaired Using 3D Printing and Sensors*. University of Manchester.

WeWalk. (2017). *Smart Cane Technology*. Recuperado de <https://wewalk.io>

TABLA TRABAJO COLABORATIVO

Rol	Autor (es)
Conceptualización	Miriam Magdalena González Muñoz, Francisco Castañeda Fierro, Victoria Lucia Gutiérrez Aguayo, Gerardo López Fierro
Metodología	Miriam Magdalena González Muñoz, Victoria Lucia Gutiérrez Aguayo, José Mario Camarillo Delgadillo
Software	Victoria Lucia Gutiérrez Aguayo, Gerardo López Fierro
Validación	Victoria Lucia Gutiérrez Aguayo, Gerardo López Fierro, José Mario Camarillo Delgadillo
Análisis Formal	Miriam Magdalena González Muñoz, Francisco Castañeda Fierro, Victoria Lucia Gutiérrez Aguayo
Investigación	Miriam Magdalena González Muñoz, Francisco Castañeda Fierro, Victoria Lucia Gutiérrez Aguayo, Gerardo López Fierro
Recursos	Victoria Lucia Gutiérrez Aguayo, Gerardo López Fierro
Curación de datos	Miriam Magdalena González Muñoz, Francisco Castañeda Fierro, Victoria Lucia Gutiérrez Aguayo, Gerardo López Fierro
Escritura - Preparación del borrador original	Miriam Magdalena González Muñoz, Francisco Castañeda Fierro, Victoria Lucia Gutiérrez Aguayo
Escritura - Revisión y edición	Miriam Magdalena González Muñoz, Francisco Castañeda Fierro, José Mario Camarillo Delgadillo
Visualización	Victoria Lucia Gutiérrez Aguayo, Gerardo López Fierro
Supervisión	Miriam Magdalena González Muñoz, Francisco Castañeda Fierro

Administración de Proyectos	Miriam Magdalena González Muñoz, Francisco Castañeda Fierro, Victoria Lucia Gutiérrez Aguayo, Gerardo López Fierro
Adquisición de fondos	Victoria Lucia Gutiérrez Aguayo, Gerardo López Fierro, José Mario Camarillo Delgadillo