

Implementación de un prototipo de casco inteligencia multimodal para asistencia de movilidad de personas con discapacidad visual en la Universidad EAN mediante inteligencia artificial y sensores

Adrian David Navarro Pérez

Universidad Ean

Ingeniería Mecatrónica

Bogotá D.C, Colombia

4/06/2026

Implementación de un prototipo de casco inteligente multimodal para asistencia de movilidad de personas con discapacidad visual en la Universidad EAN mediante inteligencia artificial y sensores

Adrian David Navarro Pérez

Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de:

Ingeniero Mecatrónico.

Director (a):

Marie Jose Chery Leal

Universidad Ean

Ingeniería Mecatrónica

Bogotá D.C, Colombia

4/06/2026

Nota de aceptación:

Firma del jurado

Firma del jurado

Firma del director del trabajo de grado

Bogotá D.C, 04/06/2026

Dedicatoria

A mis padres, por su apoyo incondicional, sus enseñanzas y por motivarme a perseguir mis metas con esfuerzo y perseveración. A ellos dedico este logro, fruto de años de aprendizaje, dedicación y crecimiento personal

Agradecimientos

Agradezco a la Universidad EAN por brindar los espacios, recursos y acompañamiento académico necesarios para el desarrollo de este proyecto. De manera especial, expreso mi agradecimiento a mi directora de proyecto de grado por su orientación, apoyo y valiosos aportes durante cada etapa de la investigación. Asimismo, agradezco al docente de braille de la Universidad EAN por su disposición y colaboración durante el proceso de recolección de información, contribuyendo significativamente a la compresión de las necesidades de movilidad de las personas con discapacidad visual. Finalmente agradezco a mi familia y a todas las personas que me brindaron apoyo y motivación durante el desarrollo de este proyecto de grado.

Resumen

La movilidad autónoma de las personas con discapacidad visual continúa representando un desafío en entornos educativos debido a las limitaciones existentes para la detección de obstáculos, orientación espacial y acceso a información del entorno en tiempo real. En respuesta a esta problemática, el presente proyecto tuvo como objetivo implementar un prototipo de casco inteligente multimodal para apoyar la movilidad de personas con discapacidad visual dentro del entorno de la Universidad EAN, integrando inteligencia artificial, sensores de distancia y retroalimentación auditiva.

La metodología desarrollada se estructuro en cuatro fases: diagnóstico de la problemática mediante revisión bibliográfica y entrevista a un docente con discapacidad visual, diseño de la arquitectura del sistema y selección de componentes, desarrollo del sistema de visión artificial mediante la construcción de un *dataset* propio y entrenamiento de un modelo de detección de objetos y la integración y validación del prototipo en escenarios reales de uso.

Como resultado se logro desarrollar un sistema capaz de detectar elementos relevantes del entorno universitario mediante un modelo basado en YOLOv8, complementado con sensores de distancia para mejorar la percepción espacial y generar alertas auditivas en tiempo real. Asimismo, se construyó un *dataset* contextualizado al campus universitario, permitiendo adaptar el sistema a escenarios reales de movilidad.

Los resultados obtenidos evidenciaron la viabilidad técnica de integrar tecnologías de inteligencia artificial y asistencia dentro de una solución portátil orientada a accesibilidad e inclusión. Finalmente, se concluye que el prototipo desarrollado constituye una alternativa funcional para fortalecer la autonomía y seguridad de personas con

discapacidad visual, además de representar una base para futuras investigaciones relacionadas con tecnologías inteligentes de asistencia y movilidad autónoma

Palabras clave: Casco inteligente, discapacidad visual, movilidad asistida, detección de objetos en tiempo real, YOLOv8, tecnologías de asistencia

Abstract

Autonomous mobility for people with visual impairments remains a significant challenge in educational environments due to limitations in obstacle detection, spatial orientation, and access to real time environmental information. In response to this issue, this project aimed to implement a multimodal smart helmet prototype to support the mobility of visually impaired individuals within the Universidad EAN campus by integrating artificial intelligence, distances sensors, and auditory feedback.

The methodology was structured into four phases: problem diagnosis through literature review and interview with a visually impaired university instructor, system architecture design and component selection, development of the computer vision system through the creation of a custom dataset and object detection model training, and prototype integration and validation in real world scenarios.

As result, a system capable of detecting relevant elements of the university environment was developed using a YOLOv8 based object detection model, complemented by distance sensors to improve spatial awareness and provide real time auditory alerts. In addition, a context specific dataset was created using images collected within the university campus, enabling the system to adapt to real mobility scenarios.

The result demonstrated the technical feasibility of integrating artificial intelligence and assistive technologies into a portable solution focused on accessibility and inclusion. Finally, it is concluded that the proposed prototype represents a functional alternative to enhance the autonomy and safety of people with visual impairments while providing a

foundation for future research in intelligent assistive technologies and autonomous mobility systems.

Keywords: Visual impairment, smart helmet, autonomous mobility, real time object detection, YLOv8, assistive technology.

Introducción

La discapacidad visual representa una de las principales limitaciones sensoriales que afectan la autonomía y la movilidad de las personas en su vida cotidiana. Según la Organización Mundial de la Salud, aproximadamente 2.200 millones de personas en el mundo presentan algún grado de discapacidad visual, de las cuales al menos 1.000 millones podrían haberse prevenido o aun no han sido tratados (OMS, 2023). Esta condición impacta directamente la independencia en el desplazamiento, especialmente en entornos urbanos y educativos donde predominan estímulos visuales, señalizaciones gráficas y obstáculos físicos.

Asimismo, la organización de las Naciones Unidas (2018) señala que las personas con discapacidad presentan mayores barreras en el acceso a la educación y movilidad, lo que limita su participación plena en la sociedad. En el contexto educativo, estas dificultades se traducen en problemas de orientación dentro del campus universitario, caracterizados por alta densidad de personas, escaleras, mobiliario diverso y caminos frecuentes en la distribución espacial.

En respuesta a esta problemática, la comunidad científica ha desarrollado diversas tecnologías asistivas. Dakopoulos y Bourbakis (2010) realizaron una revisión de

dispositivos electrónicos de movilidad para personas con discapacidad visual, destacando el uso de sensores ultrasónicos y cámaras. Por su parte, Bousbia-Salah et al. (2011) desarrollaron un bastón electrónico capaz de detectar obstáculos mediante sensores de proximidad. Mas recientemente, Tapu, Mocanu y Zaharia (2014) implementaron un sistema vestible basado en visión por computador para el reconocimiento de objetos, mientras que Zhang et al. (2020) aplicaron redes neuronales convolucionales para mejorar la precisión en la detección de obstáculos.

No obstante, muchos de estos desarrollos presentan limitaciones como el uso aislado de una sola tecnología, baja adaptación a entornos específicos y validaciones realizadas en escenarios controlados. Esto evidencia la necesidad de soluciones multimodales que integren diferentes tecnologías y que sean diseñadas para contextos particulares, como los entornos universitarios.

En la Universidad EAN, aunque existen políticas institucionales orientadas a la inclusión (Universidad EAN, 2023), persisten desafíos relacionados con la movilidad autónoma dentro del campus. Esta situación plantea la oportunidad de desarrollar una solución tecnológica contextualizada que permita mejorar la orientación y seguridad de personas con discapacidad visual en este entorno académico.

El presente proyecto se enmarca en el campo de la ingeniería mecatrónica y la inteligencia artificial aplicada, específicamente en las áreas de visión por computador, sistemas embebidos y tecnologías asistivas, La investigación propone el diseño e implementación de un casco inteligente multimodal que integra una cámara, sensores de distancia y un sistema de retroalimentación auditiva en tiempo real. Mediante el uso de un modelo de detección de objetos entrenado con un *dataset* propio del campus universitario,

el sistema busca reconocer elementos relevantes del entorno y alertar oportunamente al usuario.

En este contexto, el objetivo general de la investigación es implementar un prototipo funcional de casco inteligente multimodal para personas con discapacidad visual en la universidad EAN, integrando inteligencia artificial, sensores de distancia y retroalimentación auditiva en tiempo real para apoyar la movilidad y la seguridad del usuario dentro del campus. Para alcanzar este propósito, se plantean como objetivos específicos diagnosticar las principales dificultades de movilidad presentes en el entorno universitario, diseñar la arquitectura del sistema integrando visión por computador y sensores de distancia, desarrollar un modelo de detección de objetos utilizando un dataset propio del campus y evaluar el prototipo en condiciones reales de uso.

A partir de lo anterior, la investigación se orienta a responder la siguiente pregunta: ¿Cómo implementar un prototipo de casco inteligente multimodal que mediante inteligencia artificial y sensores, reconozca objetos del entorno de la Universidad EAN y brinde retroalimentación en tiempo real para apoyar la movilidad del personas con discapacidad visual dentro del campus?

Marco Teórico

Discapacidad Visual

La discapacidad visual es una condición que implica la perdida parcial o total de la capacidad de percibir estímulos visuales, afectando significativamente la interacción del individuo con su entorno. Esta condición puede clasificarse en baja visión y ceguera total, dependiendo del grado de afectación funcional. A nivel global, se estima que mas de 2.2 mil millones de personas presentan algún tipo de discapacidad visual, lo que evidencia la magnitud de esta problemática y su impacto social (World Health Organization,2021).

Además de su impacto físico, la discapacidad visual tiene implicaciones cognitivas, sociales y psicológicas ya que limita el acceso a información visual fundamental para la toma de decisiones y la interacción con el entorno. Estudios recientes destacan que la perdida de la visión afecta procesos como la orientación del espacio, la memoria del ambiente y la percepción del riesgo, lo que incrementa la dependencia de otras personas (Adam et., 2025).

Uno de los mayores desafíos asociados a esta condición es la movilidad independiente. Las personas con discapacidad visual enfrentan dificultades para detectar obstáculos, interpretar señales y desplazarse de manera segura en entornos dinámicos. Aunque herramientas tradicionales como el bastón o los perros guía han sido ampliamente

utilizados, estas no proporcionan información completa del entorno, especialmente en lo relacionado con distancia, altura y tipo de objeto (Dakopoulos & Bourbakis, 2010).

En este contexto surge la necesidad de desarrollar soluciones tecnológicas que permitan suplir o complementar la información visual mediante otros canales sensoriales, dando origen a las tecnologías de asistencia.

Tecnologías de Asistencia para Personas con Discapacidad Visual

Las tecnologías de asistencia (Assistive Tehnologies, AT) comprenden unas series de herramientas diseñadas para mejorar las capacidades funcionales de personas con discapacidad, facilitando su inclusión social y autonomía. Estas tecnologías pueden abarcar desde dispositivos simples hasta sistemas complejos basados en inteligencia artificial (Cook & Polgar, 2014; Hersh &Johnson, 2010).

En el caso de la discapacidad visual, las tecnologías de asistencia buscan principalmente transformar la información del entorno en estímulos auditivos o táctiles que el usuario pueda interpretar.

Dentro de este campo, los Electronic Travel Aids (ETAs) representan una de las categorías mas importantes, ya que estos dispositivos tienen como objetivo asistir a la movilidad mediante la detección de obstáculos y la generación de información sobre el entorno en tiempo real. Según Dakopoulos y Bourbakis (2010, p. 25), los ETAs se definen como sistemas capaces de detectar y localizar objetos y proporcionar información sobre su distancia, dirección y dimensiones, transformando la información visual en otros formatos perceptibles.

Adicionalmente, las tecnologías de asistencia para movilidad pueden clasificarse en tres grandes categorías:

- **ETAs (Electronic Travel Aids):**

  Estas herramientas se diseñaron específicamente para la detección de obstáculos en tiempo real. Su función principal es alertar al usuario sobre objetos estáticos o en movimiento que puedan obstruir su camino, tanto a nivel del suelo como a la altura de la cabeza. Para lograrlo, emplean sensores físicos como ultrasonido, cámaras de visión artificial o láseres, los cuales emiten señales táctiles (Vibraciones) o auditivas para evitar colisiones accidentales.

- **EOAs (Electronic Orientation Aids):**

  Estos se enfocan por completo en la orientación espacial y el reconocimiento del entorno. A diferencia de los dispositivos que solo buscan objetos, las EOAs ayudan al usuario a entender donde se encuentra con respecto a su entorno y que dirección debe seguir. Utilizan herramientas como brújulas digitales, mapas previamente cargados y reconocimiento de puntos de referencia para guiar a la persona a lo largo de una ruta predeterminada.

- **PLDs (POSOTION Locator Devices):**

  Son dispositivos basados estrictamente en sistemas de posicionamiento geográfico para exteriores. Su objetivo principal es calcular la ubicación exacta del usuario en el mapa global mediante la recepción de señales satelitales, principalmente de la red GPS. Estas tecnologías permiten trazar rutas completas desde un punto de origen hasta un destino, realizar un seguimiento continuo del trayecto y compartir las coordenadas en tiempo real por motivos de seguridad.

Esta clasificación refleja la evolución de las tecnologías desde sistemas básicos de detección hasta soluciones integrales de navegación (Dakopoulos & Bourbakis, 2010).

Dispositivos Electrónicos de Asistencia y su Evolución Histórica

El desarrollo de dispositivos electrónicos de asistencia ha estado estrechamente ligados a los avances tecnológicos en sensores, procesamiento de señales y computación.

En sus primeras etapas (décadas de 1969-1980) los sistemas de asistencia se basaban principalmente en sensores simples, como ultrasonidos o infrarrojos, que permitían detectar la presencia de obstáculos cercanos. Estos dispositivos transformaban la distancia en señales auditivas o vibraciones, pero no ofrecían información sobre el tipo de objeto (Cardillo & Caddemi, 2019).

A pesar de sus limitaciones, estos sistemas representaron un avance importante frente a herramientas tradicionales, ya que ampliaban el rango de detección más allá del contacto físico del bastón. Sin embargo, presentaban problemas como baja precisión, dificultades en superficies complejas y limitación en la capacidad de interpretación del entorno.

Con el avance de la electrónica digital, se incorporaron microcontroladores que permitieron mejorar el procesamiento de datos y la personalización de los dispositivos. Posteriormente, el desarrollo de la visión por computador marco un punto de inflexión, al permitir la incorporación de cámaras capaces de capturar información visual del entorno.

En la actualidad, los dispositivos de asistencia integran tecnologías avanzadas como sensores LiDAR, radares, cámaras de alta resolución y algoritmos inteligentes, lo que permite no solo detectar sino también interpretar el entorno de manera mas completa. De hecho, las investigaciones recientes destacan que lo sistemas modelos buscan cumplir múltiples funciones como detección de obstáculos, reconocimiento de objetos y generación de mapas del entorno (Cardillo & Caddemi, 2019).

Clasificación de Dispositivos de Asistencia y Dispositivos Vestibles

Los dispositivos de asistencia pueden clasificarse según su forma de interacción con el usuario en varias categorías:

Dispositivos tradicionales. Son las herramientas físicas clásicas y los apoyos biológicos que han servido por tanto tiempo para la movilidad. El bastón blanco y los perros guía entran en esta categoría, destacando por su alta confiabilidad, ya que no dependen de baterías ni de señales de internet. El bastón transmite texturas y desniveles del suelo por contacto físico directo, mientras que el perro guía aporta una navegación inteligente capaz de sortear obstáculos de forma autónoma

Dispositivos portátiles. Esta categoría abarca los sistemas electrónicos que se diseñaron para sostenerse con la mano o para acoplarse directamente a los bastones tradicionales. Estos aparatos complementan la exploración física añadiendo sensores ultrasónicos o láseres. Su propósito es emitir vibraciones o sonidos para avisar sobre obstáculos a media altura que el bastón físico no alcanza a detectar en el suelo

Dispositivos móviles. Son las aplicaciones de software instaladas directamente en teléfonos inteligentes (smartphones). Estas herramientas aprovechan la potencia de procesamiento del celular, la cámara integrada y los sensores internos (como el acelerómetro y el giroscopio) para ejecutar programas. Ofrecen funciones avanzadas como lectura de textos, reconocimiento de objetos mediante inteligencia artificial, lectura de códigos de barras y navegación GPS asistida por voz.

Dispositivos vestibles (Wearables). Se trata de tecnologías electrónicas que se integran directamente en el cuerpo de la persona o en su ropa cotidiana, permitiendo un uso completamente libre de manos. Esta categoría incluye objetos como gafas inteligentes con cámaras, chalecos con sensores táctiles, pulseras de vibración avanzada o plantillas

para calzado. Su ventaja principal es que recolectan datos del entorno y envían alertas sensoriales de forma discreta sin interrumpir las tareas manuales del usuario.

Los dispositivos vestibles han ganado gran relevancia en los últimos años debido a su capacidad de ofrecer asistencia continua sin interferir con la movilidad, Estos incluyen gafas inteligentes, cinturones hápticos, chalecos y cascos. Diversos estudios destacan que los dispositivos vestibles permiten integrar múltiples sensores y tecnologías en un solo sistema compacto, facilitando la percepción del entorno en tiempo real (Tapu et., 2014; Liu et al., 2010).

Además, estos dispositivos permiten implementar sistemas multimodales que combinen retroalimentación auditiva y táctil, lo que mejora significativamente la experiencia del usuario y la interpretación de la información.

Inteligencia Artificial: Fundamentos y Evolución

La inteligencia artificial (IA) es una disciplina que busca desarrollar sistemas capaces de simular procesos cognitivos humanos, como el aprendizaje, la percepción y la toma de decisiones (Rusell & Norvig, 2020). Su evolución ha pasado por diferentes etapas, desde sistemas basados en reglas hasta enfoques modernos como el *machine learning* y el *Deep learning*. Este último ha sido especialmente relevante, ya que permite el análisis de grandes volúmenes de datos mediante redes neuronales profundas (Goodfellow et al., 2016).

El crecimiento de la IA ha sido impulsado por el aumento en la capacidad computacional y la disponibilidad de datos, lo que ha permitido el desarrollo de modelos cada vez mas precisos (Goodfellow et al., 2016). En el campo de la visión por computador, estos avances han permitido el desarrollo de sistemas capaces de interpretar imágenes con un nivel de precisión cercano al humano en tareas específicas (Szeliski, 2022).

Inteligencia Artificial Aplicadas a la Detección de Objetos

La detección de objetos es una de las aplicaciones más importante de la visión por computador, ya que permite identificar y localizar elementos dentro de imágenes o video en tiempo real (IBM,2024). Este proceso se basa principalmente en redes neuronales convolucionales (CNN) las cuales permiten extraer características relevantes de las imágenes y realizar tareas de clasificación y localización (MathWorks,2021).

Modelo como YOLO (Redmon et al.,2016), SSD (Liu et al., 2016) y R-CNN (Girshick et al.,2014) han revolucionado este campo, permitiendo alcanzar altos niveles de precisión con tiempo de respuestas reducidos. En particular, el modelo YOLO destaca por su capacidad de procesar imágenes en una sola pasada, lo que hace ideal para aplicaciones en tiempo real (Redmon et al., 2016).

Además, investigaciones recientes han demostrado que los modelos basados en *Deep learning* pueden ser optimizados mediante técnicas de transferencia de aprendizaje, lo que permite mejorar su rendimiento en contextos específicos, como sistemas de asistencia para personas con discapacidad visual (Adam et al., 2025). Estos avances han permitido desarrollar sistemas capaces de no solo detectar sino también de reconocer objetos y describir el entorno al usuario.

Aplicaciones de la Inteligencia Artificial en Diferentes Sectores

La inteligencia artificial ha sido aplicada en múltiples sectores, lo que evidencia su versatilidad y potencial:

Industria. La inteligencia artificial impulsa la automatización mediante sistemas robóticos inteligentes capaces de realizar tareas complejas y adaptarse a cambios en la producción sin intervención humana. Asimismo, optimiza el mantenimiento preventivo al analizar continuamente los datos de sensores instalados en la maquinaria. Esto permite identificar patrones y predecir fallas mecánicas antes de que ocurran, reduciendo los tiempos de inactividad y los costos operativos.

Salud. En el sector médico, la IA se ha consolidado como una herramienta clave para el diagnóstico clínico y el análisis automatizado de imágenes biomédicas. los algoritmos de *Deep learning* examinan radiografías, tomografías y resonancias magnéticas con precisión logrando identificar tumores, fallas cardiacas o patologías en etapas tempranas. Esto agiliza la toma de decisiones del personal medico y mejora significativamente la tasa de supervivencia de los pacientes.

Seguridad. La inteligencia artificial desempeña un papel critico en la vigilancia moderna y los sistemas de seguridad. El reconocimiento facial permite verificar identidades en tiempo real, controlar accesos a zonas restringidas y buscar personas desaparecidas o sospechosas en espacios públicos. Además, los sistemas de IA analizan los videos de manera autónoma para detectar comportamientos inusuales, intrusiones o incendios, emitiendo alertas inmediatas.

Transporte. El desarrollo de vehículos autónomos representa uno de los mayores avances de la inteligencia artificial en la movilidad y la logística. Estos sistemas integran

redes neuronales convolucionales, sensores LiDAR y radares para interpretar el entorno de conducción en tiempo real. La IA procesa simultáneamente la ubicación de los carriles, la señalización vial, la velocidad de otros vehículos y la trayectoria de los peatones, tomando decisiones instantáneas de frenado, aceleración y de dirección para garantizar un tránsito seguro y eficiente.

Agricultura. La agricultura utiliza el monitoreo inteligente de cultivos para maximizar el rendimiento de la tierra y reducir el impacto ambiental, mediante el procesamiento de imágenes capturadas por drones y satélites, los modelos de IA evalúan el estado de salud de las plantas, detectan plagas o enfermedades y mapean los niveles de humedad del suelo. Esto permite a los agricultores aplicar agua, fertilizantes y pesticidas únicamente en las zonas que lo requieren, optimizando los recursos.

Dentro de estas aplicaciones, la asistencia a personas con discapacidad visual destaca por su impacto social, ya que busca mejorar la autonomía y calidad de vida mediante el uso de tecnologías inteligentes.

Sistemas Inteligentes de Asistencia Basados en Cascos

Dentro de los dispositivos vestibles, los cascos inteligentes representan una solución innovadora para asistencia a personas con discapacidad visual (Sharma, 2025). Estos sistemas permiten ubicar sensores y cámaras en la cabeza del usuario, lo que proporciona un campo de percepción similar al de la visión humana, mejorando significativamente la capacidad de detección y análisis del entorno (Dumittru et al., 2024). Los cascos inteligentes integran tecnologías como sensores ultrasónicos, cámaras, sistemas

de procesamiento y algoritmos de inteligencia artificial, permitiendo la detección y reconocimiento de objetos en tiempo real (Sharma, 2025).

Además, utilizan principalmente retroalimentación auditiva, lo que permite trasmitir información sin interferir con la movilidad del usuario. Evalaucaiones experimentales desarrolladas por investigadores como Al-Fahoum et al. (2022) y Sharma (2025) han demostrado que esto sistemas pueden mejorar la percepción espacial y la seguridad durante el desplazamiento, aunque aún existen desafíos relacionados con el tamaño, peso y aceptación por parte de los usuarios (Al-Fahoum et al., 2022; Sharma, 2025). Finalmente, la personalización mediante *datasets* específicos permiten adaptar estos sistemas a entornos particulares, mejorando su precisión y eficiencia en escenarios reales.

Estado del arte (Metodología PRISMA)

Estrategia de Búsqueda y Revisión Sistemática

Para el desarrollo del estado del arte se realizó una revisión sistemática de literatura siguiendo la metodología PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Anayses) la cual permite estructurar de forma trasparente y replicable el proceso de identificación, selección y análisis de estudios científicos.

La búsqueda bibliográfica se llevo a cabo en bases de datos académicas como Scopus, Web o Sciences y ScienciesDirect, debido a su alta calidad y cobertura en publicaciones científicas revisadas por pares. Se consideraron artículos publicados entre 202 y 206, escritos en ingles o español que abordaran el desarrollo de tecnologías de asistencia para personas con discapacidad visual, particularmente aquellas basadas en sensores, visión artificial o sistemas inteligentes de detección de obstáculos. La ecuación de búsqueda utilizada combino palabras claves relacionadas con el tema mediante operadores booleanos: (“assistive technology” OR “electronic travel aid” OR “Smart assitive device”) AND (“visually impaired” OR “blind people”) AND (“object detection” OR “computer visión” OR “Smart helmet”).

Esta estrategia permitió identificar estudios relacionados con el desarrollo de dispositivos inteligentes orientados a mejorar la movilidad y seguridad de personas con discapacidad visual.

Criterios de Inclusión y Exclusión

Para garantizar la calidad y pertinencia de los documentos analizados se establecieron los siguientes criterios de selección:

Criterios de Inclusión

En primer lugar, se limitó la búsqueda a artículos publicados en un rango estricto entre los años 2020 y 2026, asegurando así la revisión de literatura con tecnologías de vanguardia. En segundo lugar, se seleccionaron únicamente publicaciones publicadas en revistas de alto impacto extraídas de las bases de datos de Scopus o Web of Sciences (WoS). Asimismo, el enfoque temático se restringió a estudios directamente relacionados con el desarrollo y aplicación de tecnologías de asistencia para personas con discapacidad visual. Finalmente, se preseleccionaron solo aquellas investigaciones que presentan una metodología clara junto con resultados comprobables o evidencias tangibles de desarrollo tecnológico.

Criterios de Exclusión

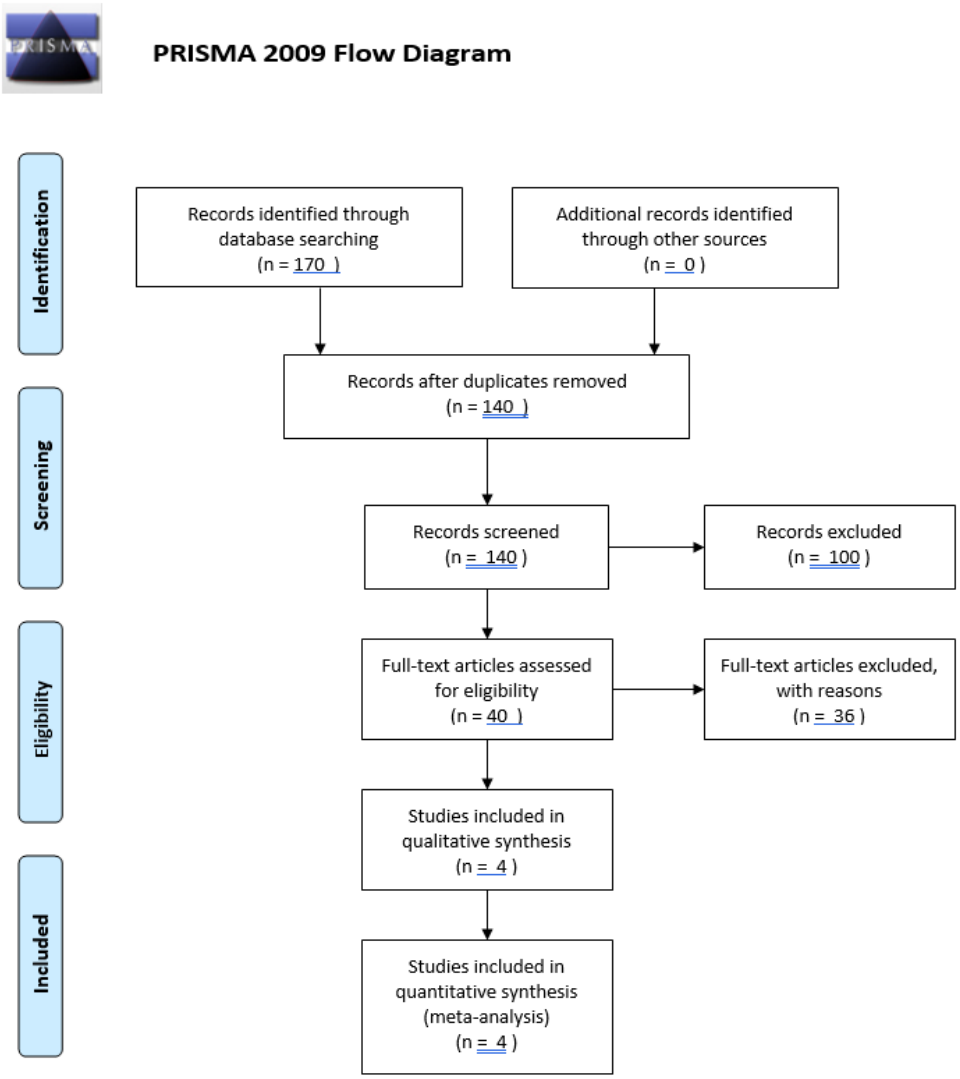
Como primera medida se excluyeron de forma automática todos los artículos publicados antes del año 2020 para evitar la antigüedad tecnológica en los antecedentes. Como segunda medida se descartaron aquellos estudios que carecieran de una metodología detallada o que no presentaran resultados verificables. Asimismo, se eliminaron las publicaciones duplicadas entre las diferentes bases de datos consultadas y finalmente, se rechazaron todas las investigaciones cuyo objeto de estudio no estuvieran directamente relacionado con el desarrollo de dispositivos de asistencia o sistemas para la detección de obstáculos.

Siguiendo el proceso de revisión PRISMA, inicialmente se identificaron diversos artículos mediante las bases de datos seleccionadas. Posteriormente, se realizó una revisión preliminar de títulos y resúmenes para evaluar su relevancia con respecto al tema de investigación. Después de aplicar los criterios de inclusión y exclusión se seleccionaron los estudios mas relevantes para el análisis comparativo. Finalmente, se eligieron cuatro

artículos científicos publicados en revistas extraídas que presentan desarrollos tecnológicos similares al enfoque del proyecto, los cuatro fueron analizados en detalle. El proceso completo de identificación, selección y elegibilidad de los documentos se representa mediante el correspondiente diagrama de flujo PRISMA (Ver figura 1), el cual muestra la cantidad de artículos encontrados, filtrados y finalmente incluidos en el análisis

Figura 1

Diagrama PRISMA



From: Moher D, Liberati A, Tetzlaff J, Altman DG, The PRISMA Group (2009). *P*referred *R*eporting *I*tems for *S*ystematic Reviews and *M*eta-*A*nalyses: The PRISMA Statement. PLoS Med 6(6): e1000097. doi:10.1371/journal.pmed1000097

For more information, visit www.prisma-statement.org.

Análisis Comparativos de Estudios Previos

En la tabla 1 se incluye la información de los artículos seleccionados los cuales muestran diferentes enfoques para el desarrollo de tecnologías de asistencia orientadas a personas con discapacidad visual. En general, las investigaciones recientes se centran en la integración de sensores, algoritmos de visión artificial y modelos de inteligencia artificial para detectar objetos y mejorar la movilidad de los usuarios.

Algunos trabajos se enfocan en el desarrollo de dispositivos vestibles capaces de detectar obstáculos mediante sensores ultrasónicos o cámaras (Dumitru et al., 2024; Patankar et al., 2025), mientras que otros utilizan modelos de aprendizaje profundo para el reconocimiento de objetos en tiempo real (Al-fahoum et al., 2022; Ma et al., 2025). Estos enfoques buscan proporcionar información al usuario mediante señales auditivas o hápticas.

A pesar de los avances reportados, revisiones sistemáticas y estudios analíticos desarrollados por autores como Bai et al., (2024) y Sharma (2025), mencionan limitaciones relacionados con la precisión de detección en entornos complejos, de igual manera, investigaciones como la de Busaeed et al. (2022) enfatizan en el alto consumo energético de los dispositivos y la necesidad de entrenar los modelos con conjuntos de datos más específicos para cada entorno. Estas limitaciones evidencian la necesidad de continuar desarrollando soluciones que integren hardware eficiente y algoritmos de visión artificial optimizados.

En este contexto el presente proyecto busca aportar al desarrollo de tecnologías de asistencia mediante el diseño de un sistema inteligente que combine sensores y modelos de detección de objetos, orientado a mejorar la seguridad y autonomía de personas con discapacidad visual en entornos específicos como campus universitarios.

Tabla 1

Comparación de estudios seleccionados

Autor(es) / Año	Khan et al., 2025	Baig et al., 2024	Brilli et al., 2024	Chandra et al., 2025
Título del estudio	Intelligent Assitive Device for Visually Impaired People-A Computer Visision Based approach	AI-based Wearable Vision Assistance System for the Visually Impaired	Alris: An AI-Powerd Wearable Assitive Device for the Visually Impaired	Computer Vision and Depth Sensor-Powered Smart Cane for Obstacle Detection
Objetivo principal	Desarrollar un dispositivo inteligente basado en visión por computadora para mejorar la movilidad de personas con	Diseñar un sistema vestible basado en inteligencia artificial capaz de reconocer objetos y	Desarrollar un dispositivo wearable que permita a las personas con discapacidad visual interpretar	Diseñar un bastón inteligente con sensores de profundidad y visión artificial para detectar obstáculos

	discapacidad visual	describir el entorno	su entorno mediante IA	
Metodología empleada	Desarrollo experimental utilizando Raspberry Pi, sensores y algoritmo de visión artificial	Implementación de un sistema con cámara montada en sombrero, Raspeberry Pi y modelos de IA	Desarrollo de un prototipo con cámara, reconocimiento de objetos y procesamiento mediante IA	Desarrollo experimental utilizando cámara de profundidad y modelos de detección de objetos
Variables analizadas	Detección de objetos, reconocimiento facial, lectura de texto, navegación	Reconocimiento de objetos, distancia a obstáculos, descripción del entorno	Identificación de objetos, reconocimiento facial, descripción de escenas	Distancia a obstáculos, precisión de detección, tiempo de respuesta
Principales hallazgos	El sistema permite identificar objetos y obstáculos en tiempo real, mejorando la	El sistema permite identificar objetos y proporcionar retroalimentación auditiva en tiempo real	Sistema permite describir el entorno y reconocer objetos en tiempo real	El sistema logra detección de objetos con buena precisión y latencia cercana a 150 ms

	independencia del usuario			
Limitaciones reportadas	Limitaciones relacionadas con el consumo energético y el procesamiento en tiempo real	Dependencia del hardware y necesidad de optimizar la velocidad de procesamiento	Requiere entrenamiento del modelo y optimización del hardware para uso continuo	Limitaciones en consumo energético y costos del hardware
Relación con el proyecto actual	Este estudio demuestra la viabilidad de integrar visión artificial e IA en dispositivos portátiles, enfoque similar al caso inteligente propuesto en el proyecto	Este trabajo evidencia el potencial de los dispositivos vestibles con cámara e IA, lo cual respalda la propuesta de utilizar un casco inteligente para asistencia visual	Este estudio respalda el uso de inteligencia artificial y visión por computador como herramientas para mejorar la percepción del entorno	Este estudio demuestra la importancia de combinar sensores de distancia y visión artificial, enfoque que también se propone integrar en el caso inteligente del proyecto

Metodología

Para el desarrollo del presente proyecto se planteó una metodología dividida en cuatro fases principales, orientada al diseño, integración y validación de un prototipo de casco inteligente multimodal para asistencia de movilidad en personas con discapacidad visual dentro del entorno de la Universidad EAN. Cada fase se estructuro de manera secuencial con el fin de garantizar coherencia entre los objetivos específicos, el desarrollo tecnológico y los resultados esperados del proyecto.

Fase 1. Diagnóstico del Problema de Movilidad

La primera fase del proyecto estuvo orientada a la identificación de las principales problemáticas relacionadas con la movilidad de personas con discapacidad visual dentro del entorno universitario. Para ello, inicialmente se planteó realizar una revisión bibliográfica enfocada en tecnologías de asistencia, dispositivos vestibles, visión artificial e inteligencia artificial aplicada a movilidad asistida, con el propósito de analizar el estado actual de las soluciones existentes, sus ventajas y limitaciones. Posteriormente, se propuso efectuar un reconocimiento del entorno de la Universidad EAN mediante observaciones directas en diferentes zonas de circulación, incluyendo pasillos, entradas, escaleras, salones y áreas comunes. Esta actividad permitiría identificar obstáculos frecuentes, elementos relevantes para la orientación y posibles riesgos asociados al desplazamiento dentro del campus universitario. Luego, se contempló la realización de entrevistas y recopilación de información relacionada con las necesidades de asistencia y orientación de personas con discapacidad visual, con el fin de determinar qué características debía poseer el sistema para brindar una solución funcional y útil dentro del entorno universitario.

Con base en la información obtenida durante esta fase, se planteo definir los requerimientos funcionales y no funcionales del proyecto, estableciendo aspectos relacionados con detección de obstáculos, procesamiento en tiempo real, portabilidad, autonomía energética y retroalimentación auditiva.

Fase 2. Selección de Componentes y Diseño de Arquitectura

En la segunda fase se planteó realizar la selección de los componentes electrónicos y computacionales necesarios para el desarrollo del prototipo. Para ello, se propuso efectuar una comparación entre diferentes alternativas de hardware, considerando criterios relacionados con capacidad de procesamiento, compatibilidad, tamaño, consumos energéticos, facilidad de integración y costo.

Inicialmente, se contemplo analizar diferentes sistemas de procesamiento embebido capaces de ejecutar modelos de inteligencia artificial en tiempo real. Posteriormente, se planteo evaluar distintos sensores de distancia y sistemas de captura de imagen que permitieran obtener información del entorno de manera eficiente y estable. Asimismo, se propuso seleccionar los componentes de retroalimentación auditiva y alimentación energética necesarios para el funcionamiento del sistema portátil. Durante esta etapa también se contempló analizar aspectos ergonómicos relacionados con la distribución de los componentes dentro del casco y los accesorios complementarios, buscando reducir el peso mejorando la comodidad del usuario.

Una vez seleccionados los componentes, se planteo diseñar la arquitectura general del sistema, definiendo la interacción entre sensores, sistema de visión artificial, procesamiento de datos y mecanismos de salida auditiva. Esta arquitectura permitiría establecer el flujo general de funcionamiento del prototipo y garantizar la integración adecuada entre hardware y software.

Fase 3. Desarrollo del Sistema de Visión Artificial y Entrenamiento del modelo

La tercera fase estuvo orientada al desarrollo del sistema de visión artificial y al entrenamiento del modelo de detección de objetos. Para ello, inicialmente se planteo realizar la captura de imágenes dentro del entorno universitario, considerando diferentes escenarios, condiciones de iluminación y ángulos de visualización, con el propósito de construir un *dataset* representativo de los elementos relevantes para la movilidad asistida. Posteriormente, se propuso efectuar un proceso de selección y organización de clases de interés, incluyendo objetos, obstáculos y elementos de orientación presentes dentro del campus universitario. Con base en estas clases, se contemplo utilizar plataformas especializadas para el etiquetado y administración del dataset, permitiendo estructurar la información necesaria para el entrenamiento del modelo de inteligencia artificial. Adicionalmente, se planteó realizar una distribución equilibrada de las imágenes dentro de conjuntos de entrenamiento, validación y prueba, buscando garantizar un aprendizaje adecuado y evitar desbalances entre clases, Durante esta etapa también se contemplo aplicar procesos de preprocesamiento y organización de datos para optimizar el desempeño del modelo.

Una vez estructurado el dataset, se propuso utilizar herramientas de programación y librerías de visión artificial para el entrenamiento de una red neuronal orientada a la detección de objetos en tiempo real. Posteriormente, se planteo efectuar pruebas preliminares de funcionamiento y desempeño con el fin de analizar aspectos relacionado con precisión, capacidad de detección y estabilidad del modelo antes de su integración en el prototipo físico.

Fase 4. Integración y validación de prototipo

En la fase final del proyecto se planteó realizar la integración de todos los componentes físicos y computacionales dentro del prototipo del casco inteligente. Par ello, se propuso ensamblar el sistema de visión artificial, sensores de distancia, unidad de procesamiento y mecanismos de retroalimentación auditiva dentro de una estructura portátil orientada a la asistencia de movilidad. Posteriormente, se contempló efectuar la configuración del entorno de programación y la implementación del modelo de inteligencia artificial dentro del sistema embebido, permitiendo la ejecución del proceso de detección de objetos y generación de alertas auditivas en tiempo real.

Una vez integrado el sistema, se planteó desarrollar pruebas funcionales en escenarios controlados y recorridos dentro del entorno universitario, con el propósito de evaluar el comportamiento general del prototipo en condiciones reales de uso. Durante esta etapa se contemplo analizar aspectos relacionados con detección de obstáculos, tiempo de respuesta, estabilidad del sistemas, funcionamiento continuo y capacidad de asistencia durante la movilidad.

Finalmente, se propuso registrar observaciones y resultados obtenidos durante las pruebas de validación, permitiendo identificar posibles oportunidades de mejora y evaluar la viabilidad técnica y funcional del prototipo desarrollado.

Resultados

Enfoque y Alcances de la Investigación

La presente investigación se desarrolla bajo un enfoque cuantitativo, orientado al análisis del desempeño de un sistema tecnológico mediante la medición de variables objetivas como la precisión en la detección de objetos, el tiempo de respuesta y la capacidad de identificación en diferentes escenarios. Este enfoque permite evaluar el funcionamiento del prototipo de manera experimental y verificable.

El diseño de la investigación corresponde a un estudio no experimental de tipo descriptivo, dado que no se manipulan variables independientes, sino que se observa el comportamiento del sistema en condiciones reales de uso. Asimismo, el alcance del estudio es descriptivo, ya que busca caracterizar el funcionamiento del casco inteligente y su capacidad para asistir a personas con discapacidad visual en un entorno especifico, como lo es la Universidad EAN.

Desde el punto de vista temporal, la investigación es de tipo transversal, debido a que las pruebas del sistema y la recolección de datos se realizan en un único periodo de tiempo durante la fase de validación del prototipo. Este tipo de enfoque ha sido ampliamente utilizado en estudios de visión por computador aplicados a sistemas de

asistencia. Para alcanzar los objetivos propuestos para el proyecto se desarrollaron en fases, de acuerdo a lo descrito a continuación.

Fase 1: Diagnostico del Problema de Movilidad

Revisión de Fuentes Secundarias

Como primera aproximación al problema, se realizó una revisión de literatura basada en artículos científicos, informes institucionales y estudios previos relacionados con la movilidad de personas con discapacidad visual.

A partir de los cuales se logro identificar que la movilidad autónoma de las personas con discapacidad visual constituye un desafío significativo en sus vidas cotidianas, particularmente en entornos complejos como los espacios urbanos y universitarios. Esta problemática afecta directamente la capacidad de orientación, la seguridad durante el desplazamiento y el nivel de independencia del individuo.

De acuerdo con Bhowmick y Hazarika (2017), una de las principales dificultades radica en la detección de obstáculos en el entorno, especialmente aquellos que no se encuentran a nivel del suelo. El uso del bastón tradicional, aunque es una herramienta ampliamente utilizada, presenta limitaciones para identificar objetos elevados o en movimiento, lo que incrementa el riesgo de colisiones.

En esta misma línea Velázquez (2010) señala que la orientación espacial representa un reto constante, particularmente en entornos complejos donde existen múltiples rutas, cambios de nivel y estructuras dinámicas. Estas condiciones dificultan la construcción de referencias claras, afectando la autonomía del usuario.

Por otra parte, la World Blind Union (2020) destaca que la falta de infraestructura accesible y señalización adecuada en espacios públicos y educativos limita significativamente la movilidad segura de las personas con discapacidad visual, generando en muchos casos dependencia de terceros.

Adicionalmente, Bhowmick y Hazarika (2017) nuevamente nos resaltan que los entornos dinámicos como aquellos con alta circulación de personas, incrementan la dificultad de desplazamiento debido a la imposibilidad de anticipar movimientos y reaccionar oportunamente ante obstáculos imprevistos.

En resumen, estos estudios evidencian que las limitaciones en la movilidad de las personas con discapacidad visual no dependen únicamente de la condición del individuo, sino también de las características del entorno y de la falta de herramientas que permitan interpretar la información del espacio en tiempo real.

Con lo cual se lograron identificar las principales dificultades que existen en la movilidad de las personas con discapacidad visual, tales como detección limitada de obstáculos a diferentes alturas, dificultades en la orientación espacial, falta de señalización accesible en entornos urbanos y educativos y dependencia parcial de terceros para desplazamientos complejos. Asimismo, en los anteriores estudios se logran resaltar la importancia de integrar tecnologías emergentes, como la visión por computador y sensores de distancia, para mejorar la autonomía de las personas con discapacidad visual.

Entrevista a Usuario con Discapacidad visual

Con el propósito de complementar la información obtenida mediante la revisión bibliográfica, se realizó una entrevista al abogado y docente de braille William Gonzales con discapacidad visual y experiencia de movilidad dentro del campus universitario. La entrevista permitió identificar necesidades, limitaciones y oportunidades de mejora relacionadas con los procesos de orientación y desplazamiento en entorno académicos.

A partir de las respuestas obtenidas, se evidencio que el participante posee capacidad para desplazarse de manera autónoma dentro de la universidad; sin embargo, frecuentemente requiere apoyo de personal de vigilancia o acompañamiento de terceros para facilitar su orientación y acceso a diferentes espacios. Este hallazgo coincide con lo reportado en la literatura, donde se menciona que las personas con discapacidad visual suelen depender parcialmente de apoyo externo en entornos complejos. Asimismo, el entrevistado manifestó que una de las principales dificultades durante sus desplazamientos se presenta en espacios con alta concentración de personas y ruido ambiental. En estas situaciones, la orientación se vuelve mas compleja debido a la perdida de referencias auditivas que normalmente utiliza para ubicarse dentro del entorno. Lo anterior evidencia la importancia de contar con herramientas complementarias que permitan suministrar información del entorno de manera clara e independiente de las condiciones acústicas.

Respecto a la infraestructura de la Universidad EAN, el participante indico que aunque el desplazamiento dentro del campus no representa una dificultad significativa debido al conocimiento previo de las instalaciones, aún existe una necesidad de fortalecer la señalización accesible para personas con discapacidad visual. Este aspecto coincide con diversos estudios que resaltan la importancia de incorporar mecanismos de orientación inclusivos dentro de espacios educativos y públicos.

En relación con las herramientas de asistencia utilizadas actualmente, es entrevistado manifestó que emplea ocasionalmente un bastón plegable, reconociendo su utilidad para la detección de obstáculos cercanos. Sin embargo, también señalo que dispositivos de asistencia basados en tecnologías más avanzadas podrían aportar información adicional sobre el entorno y mejorar la experiencia de movilidad. Particularmente, expreso interés por sistemas capaces de proporcionar información mediante audio, aunque sugirió que el uso de un casco podría resultar incomodo durante periodos prolongados, recomendando explorar alternativas como audífonos o dispositivos más ligeros.

Otro hallazgo relevante corresponde a la importancia de la velocidad de respuesta del sistema. El participante destaco que cualquier dispositivo de asistencia debe proporcionar información en tiempo real y con suficiente anticipación para permitir una reacción adecuada antes obstáculos o situaciones de riesgo. Según su percepción, las alertas deben generarse a una distancia prudente que permita al usuario tomar decisiones de manera segura durante el desplazamiento, especialmente cuando se encuentra caminando a velocidades normales o elevadas.

En términos generales, los resultados de la entrevista permitieron identificar que las principales necesidades de movilidad están relacionadas con la detección anticipada de obstáculos, la orientación en entornos concurridos, la disponibilidad de información en tiempo real y la reducción de la dependencia de terceros. Estos hallazgos sirvieron como insumo para definir los requerimientos funcionales del sistema propuesto y respaldaron la implementación de tecnologías de visión artificial, sensores de distancia y retroalimentación auditiva dentro del casco inteligente desarrollado.

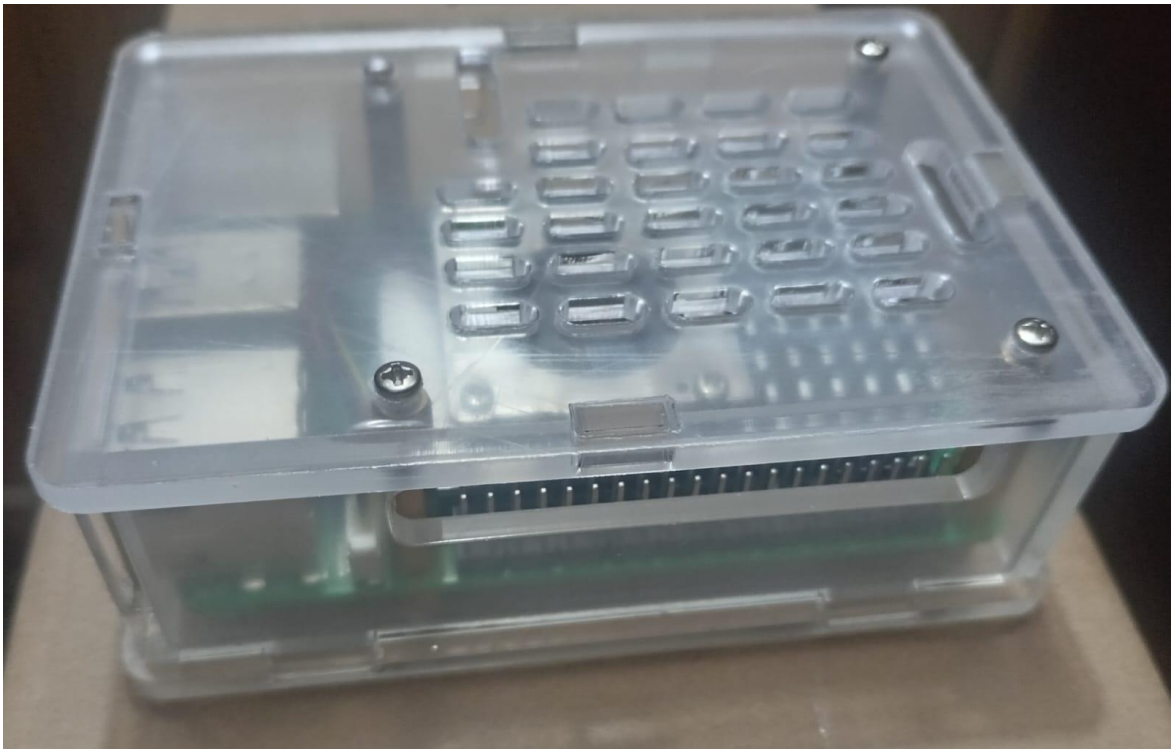
Fase 2: Diseño de la Arquitectura del Sistema

Selección de Materiales y Componentes

En esta fase se realizó la selección de los componentes tecnológico necesarios para el desarrollo del sistema, considerando criterios como capacidad de procesamiento, precisión en la captura de los datos, portabilidad, consumo energético y la facilidad de integración. A continuación, se describen los principales componentes utilizados en el prototipo.

Figura 2.

Procesador Raspberry PI 5 8GB RAM

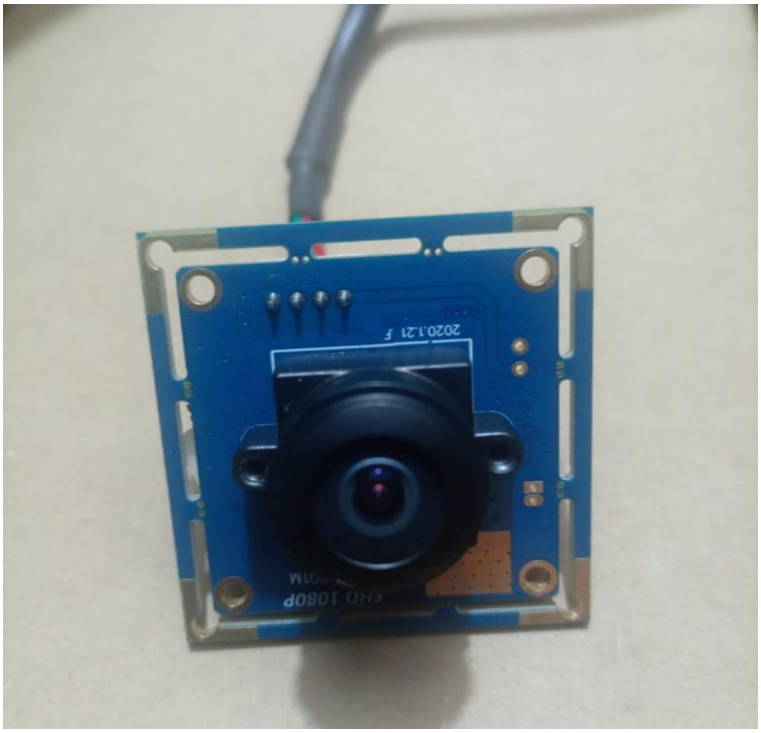


Unidad de Procesamiento. La unidad central del sistema es la Raspberry Pi 5 (8 GB de RAM), la cual se encarga de ejecutar los algoritmos de visión por computador y procesar la información capturada por los sensores en tiempo real. Se selecciono este dispositivo debido a su alto rendimiento en comparación con versiones anteriores, su compatibilidad con librerías de inteligencia artificial y su capacidad para trabajar con modelos de detección de objetos como YOLO.

Sistema de Visión (Cámara). Para la captura de imágenes se utilizó una cámara USB 1080P con lente ojo de pez de 180° (Modulo SVPRO), la cual permite obtener un campo de visión amplio del entorno. El uso de una cámara gran angular es fundamental en este tipo de aplicaciones, ya que permite detectar objetos en un rango mayor sin necesidad de movimiento constantes de la cabeza, mejorando la percepción espacial del usuario.

Figura 3.

Cámara USB 1080P con lente ojo de pez de 180° (Modulo SVPRO)

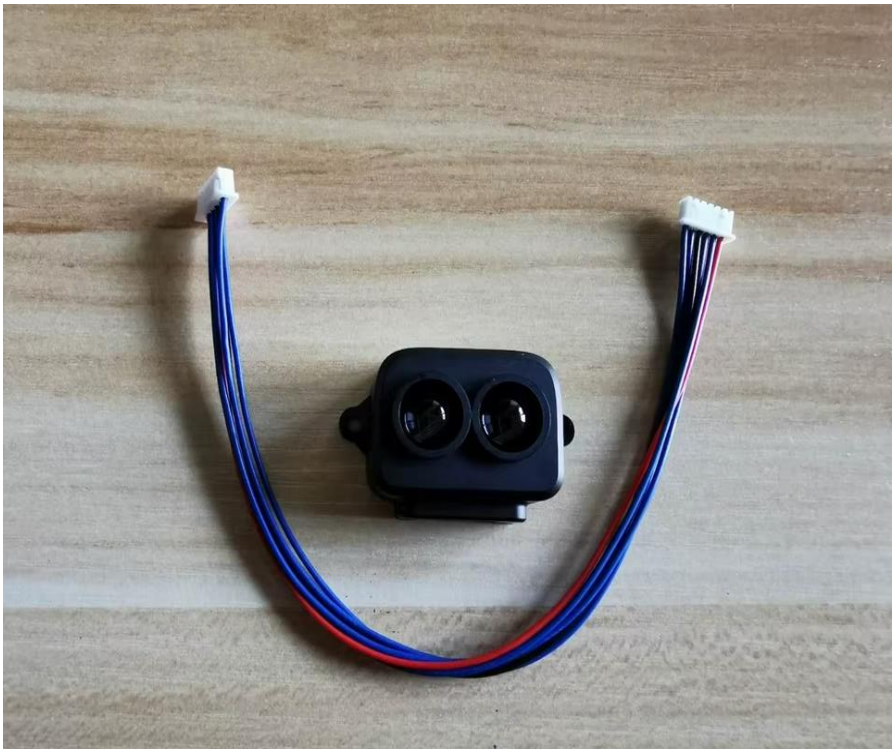


Sensor de Distancia. Se empleo el sensor LiDAR TF-Luna, el cual permite medir distancia a objetos mediante tecnología láser. Este sensor complementa el sistema de visión artificial, proporcionando información precisa sobre la proximidad de obstáculos.

Su integración es clave para detectar objetos cercanos que podrían no ser identificados correctamente por la cámara, especialmente en condiciones de baja iluminación o interferencias visuales.

Figura 4.

Sensor LiDAR TF-Luna



Sistema de Salida (Audio). Para la retroalimentación al usuario se utilizó un par de audífonos alámbricos de buena calidad, el cual permite emitir señales auditivas asociadas a los objetos detectados.

Este componente es fundamental, ya que traduce la información procesada por el sistema en una forma perceptible para el usuario, facilitando su interpretación del entorno sin necesidad de visión.

Figura 5.

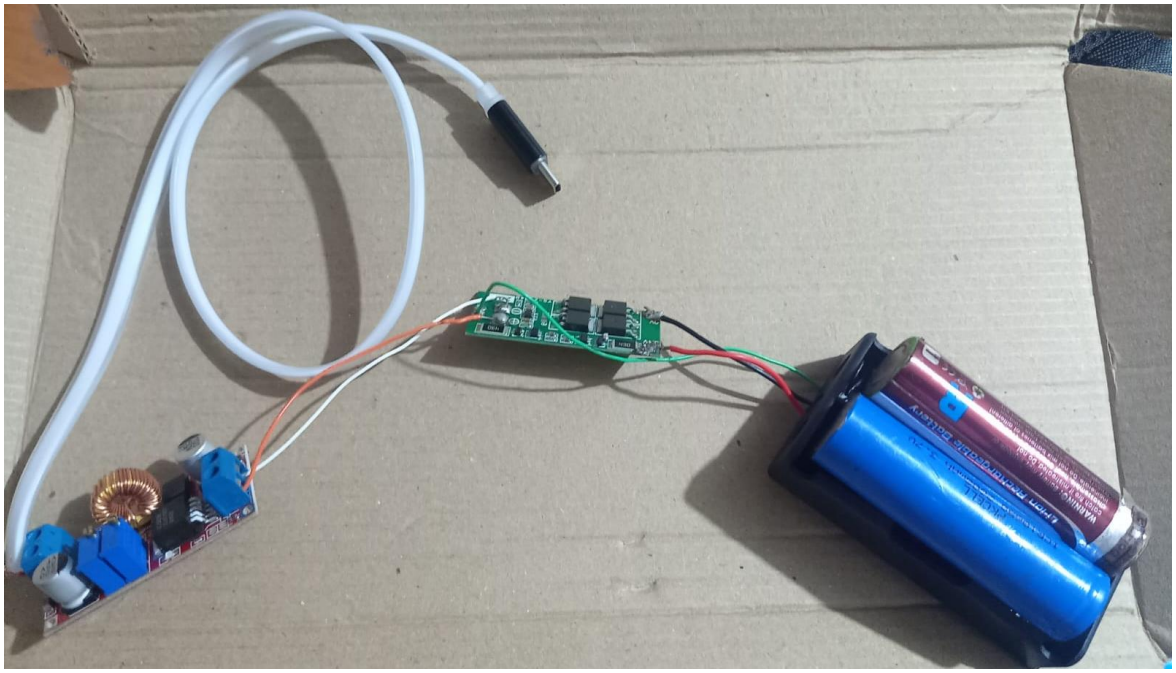
Audífonos alámbricos plug Jack 3.5mm



Sistema de Alimentación. Sistema de alimentación mediante dos baterías de litio 18650 conectadas en serie, las cuales entregan una tensión de 8,4V (4,2V por celda) y una capacidad de 8800 mAh. Para gestionar esta energía de forma segura eficiente, el circuito integra un protector BMS de 20 A que monitorea constantemente la carga y descarga de las celdas para evitar sobrecargas o cortocircuitos. Asimismo, incorpora un modulo regulador XL4015 encargado de reducir y estabilizar el voltaje proveniente de las baterías para entregar un suministro eléctrico exacto y constante al dispositivo. Se selecciono esta configuración en lugar de un banco de energía comercial debido a su alta densidad energética, su excelente autonomía y el modularidad que ofrece, lo cual facilita el reemplazo independiente de los componentes y optimiza el espacio del prototipo.

Figura 6.

Sistema de alimentación por baterías de litio 18650



Sistema de Soporte (Chaleco). Adicionalmente, se implementó un chaleco como elemento de soporte, en el cual se alojan la Raspberry Pi y la batería. Esta decisión se tomo con el objetivo de reducir el peso del casco y mejorar la comodidad del usuario durante su uso. El chaleco permite distribuir mejor la carga y facilita el acceso a los componentes para mantenimiento o ajustes.

Figura 7.

Chaleco de soporte de sistema de alimentación y de procesamiento



Tabla 2.

Listado de componentes

Componentes	Referencia	Función
Raspberry Pi 5	8 GB RAM	Procesamiento de datos
Cámara USB	SVPRO 1080p 180°	Captura de imágenes
Sensor LiDAR	TF-Luna	Medición de imágenes
Parlante	1W 8 Ω	Retroalimentación auditiva
Power bank	20.000 mAh 5V/3A	Alimentación
Chaleco		Soporte y distribución

Diseño del Casco (Modelado e impresión 3D). El diseño del casco se realizo utilizando el software SolidWorks, con el objetivo de desarrollar una estructura ergonómica que permita la correcta integración de los sensores y cámara, sin afectar la comodidad del usuario.

Figura 8.

Diseño del prototipo de casco en SolidWorks



Durante el diseño se consideraron aspectos como la ubicación frontal de la cámara para maximizar el campo de visión, así como la posición de los sensores para garantizar la detección de obstáculos a diferentes alturas. También se tuvieron en cuenta factores como ventilación, peso y ajuste a la cabeza.

Es importante destacar que los componentes de mayor peso, como la Raspberry Pi y la batería, no se encuentran integrados en el casco, sino en un chaleco externo, lo cual reduce significativamente la carga sobre la cabeza del usuario.

El casco fue fabricado mediante impresión 3D utilizando filamento PLA, debido a su facilidad de uso, bajo costo y propiedades mecánicas adecuadas para prototipos funcionales.

Definición de la arquitectura del sistema

Una vez seleccionados los componentes y diseñada la estructura física, se procedió a definir la arquitectura funcional del sistema, estableciendo la forma en que los diferentes módulos interactúan entre sí. El sistema se estructuró en tres módulos principales:

Módulo de Adquisición de Datos. Encargado de capturar la información del entorno mediante la cámara y los sensores de distancia. Este modulo permite obtener tanto información visual como datos de proximidad.

Módulo de Procesamiento. Implementación en la Raspeberry Pi, este modulo se encarga de ejecutar los algoritmos de inteligencia artificial, procesando las imágenes capturadas para identificar objetos en tiempo real.

Módulo de Salida. Encargado de transformar la información procesada en señales auditivas, permitiendo al usuario interpretar su entorno sin necesidad de visión. Esta arquitectura modular permite una integración eficiente de los componentes y facilita futuras mejoras del sistema, como la incorporación de nuevos sensores o algoritmos más avanzados.

En la figura 9 se presenta el flujo del sistema del proyecto del casco.

Figura 9.

Flujo del sistema del casco



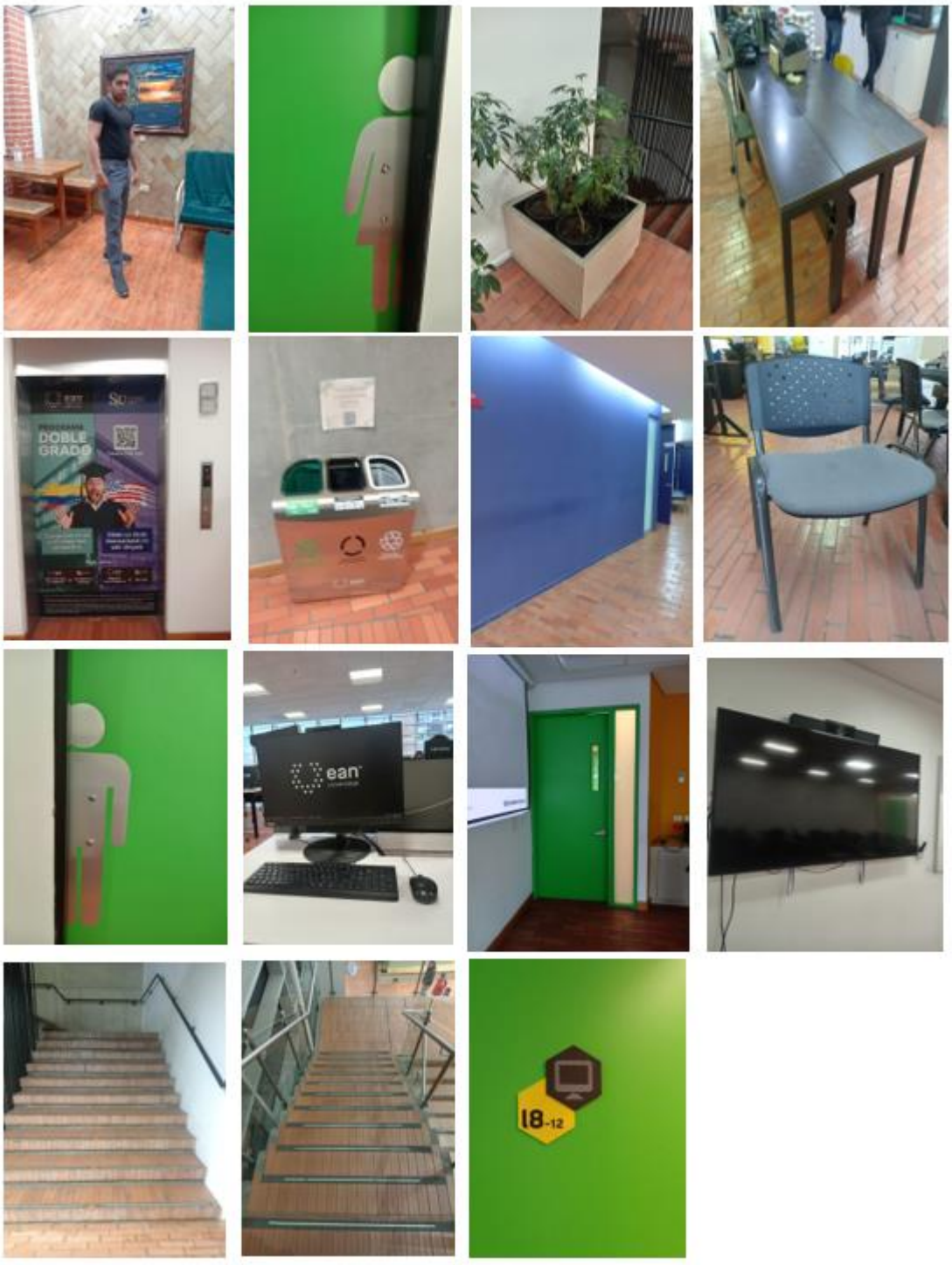
Fase 3: Desarrollo del Modelo de Detección de Objetos

Construcción del Dataset

En esta fase se desarrolló el conjunto de datos (dataset) necesario para entrenar el modelo de detección de objetos. Para ellos se realizó la captura 4377 imágenes dentro del entorno de la Universidad EAN, con el objetivo de representar escenarios reales de uso del sistema. Las imágenes recolectadas fueron divididas en clases en las cuales incluyen objetos relevantes para la movilidad, estas clases fueron:

Figura 10.

Fotografías tomadas para el dataset



Este enfoque permite que el modelo se adapte específicamente al entorno universitario, lo cual representa un valor diferencial frente a otros sistemas genéricos.

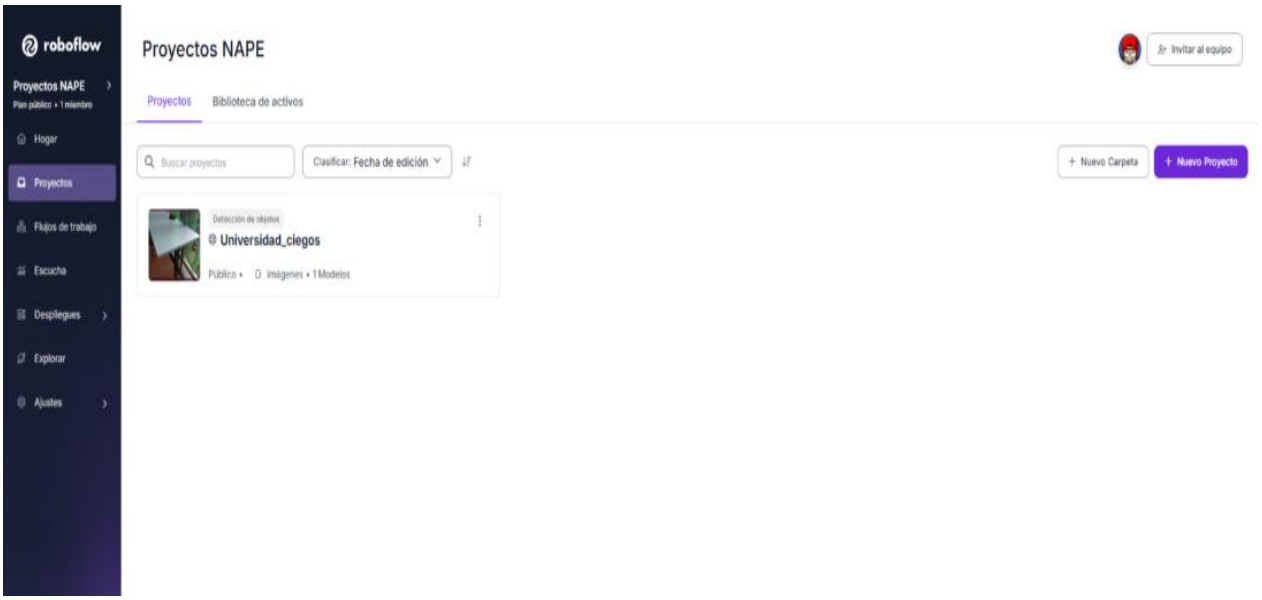
Creación y Etiquetado del Dataset en Roboflow

Una vez obtenidas las imágenes, estas fueron cargadas en la plataforma Roboflow, la cual permite gestionar datasets de visión por computador de manera eficiente. El proceso realizado en Roboflow fue el siguiente:

1. Creación del proyecto

Figura 11.

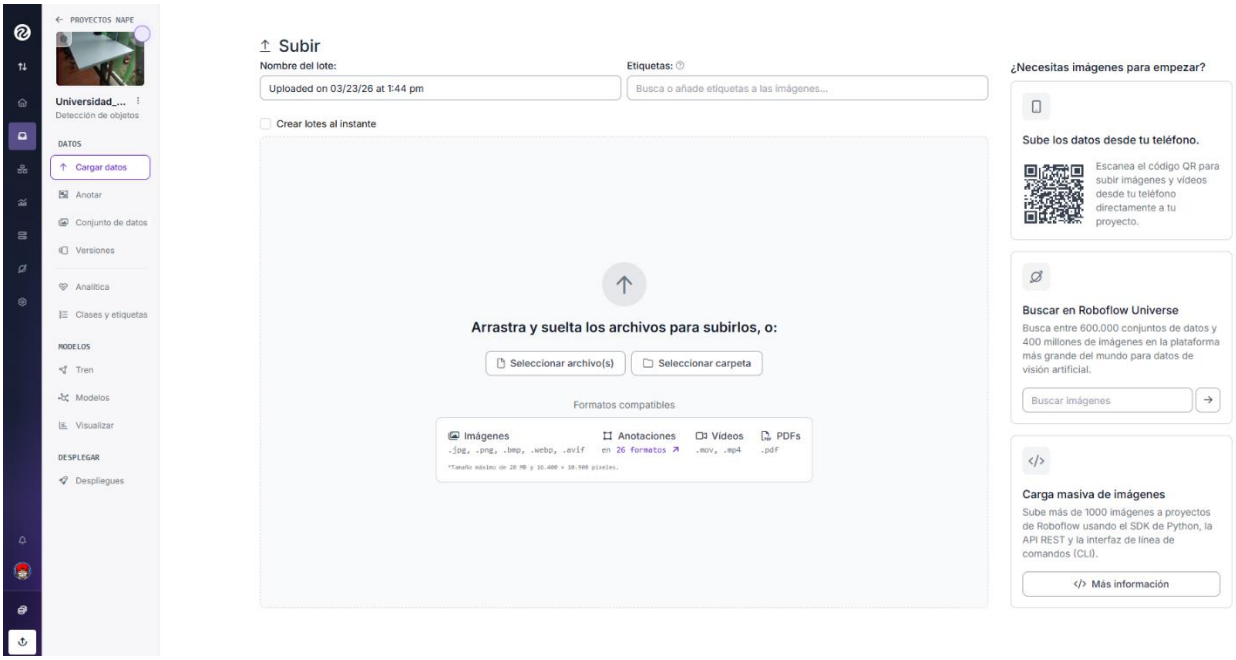
Entrada Roboflow



2. Carga de imágenes

Figura 12.

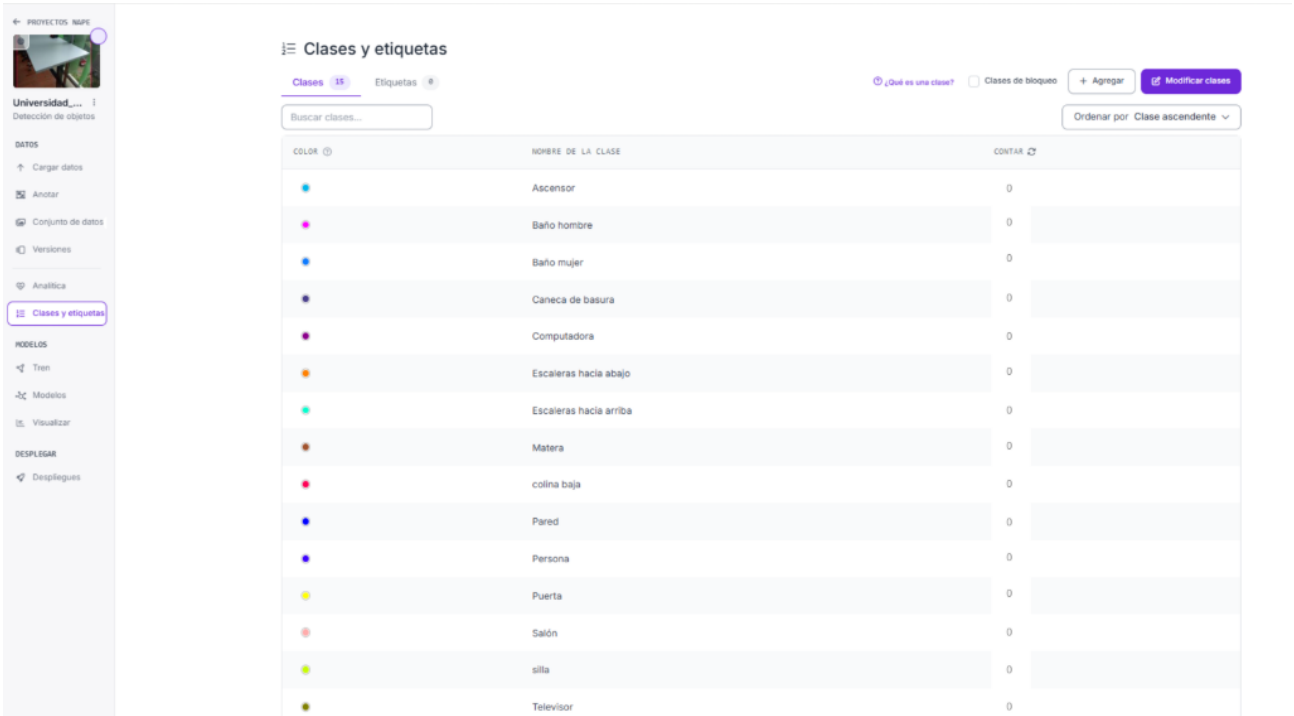
Carga de imágenes del dataset



3. Definición de Clases

Figura 13.

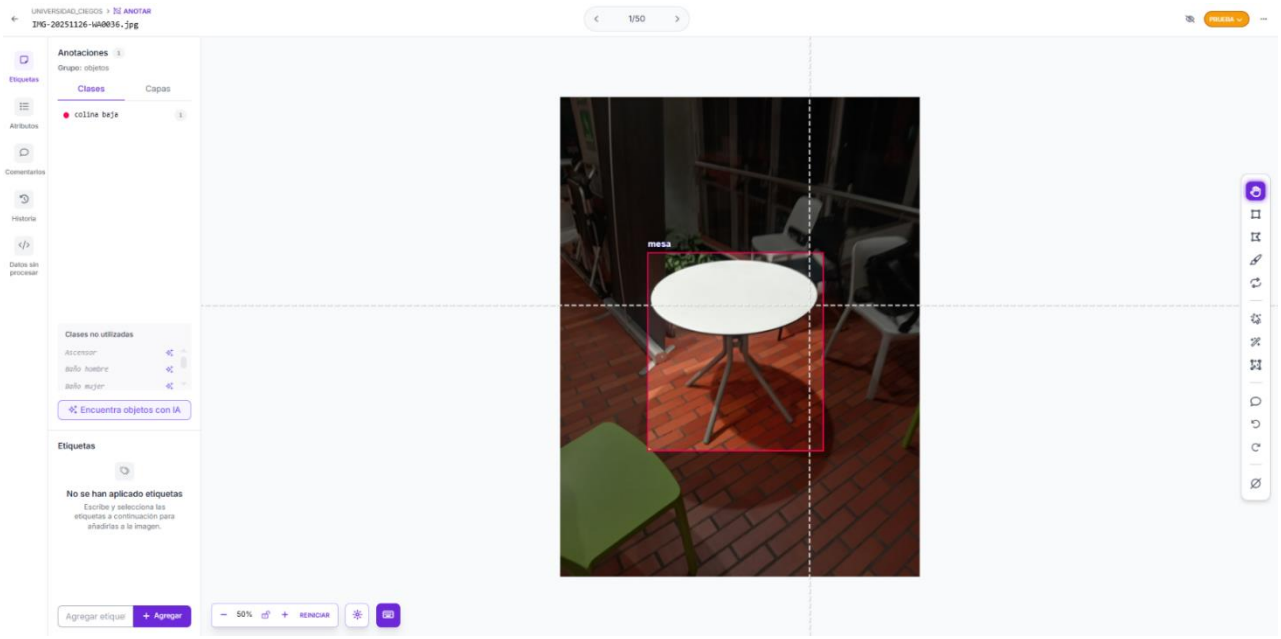
Creación de clases



4. Etiquetado manual mediante bounding boxes

Figura 14.

Ajuste y selección de la clase



El etiquetado consiste en delimitar cada objeto dentro de la imagen mediante un recuadro, asignándole una clase especifica. Este proceso es fundamental, ya que la calidad del modelo depende directamente de la calidad del dataset.

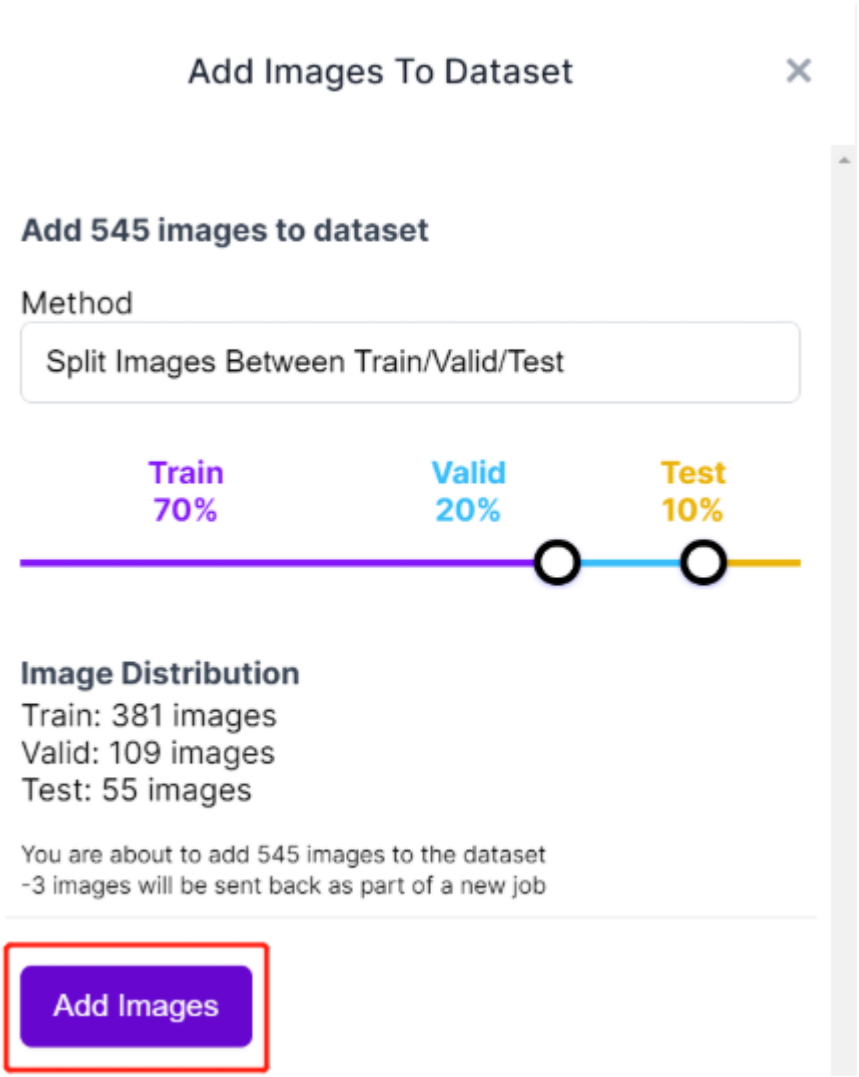
Preprocesamiento y Generación del Dataset

Posteriormente, se procedió a generar el dataset final aplicando diferentes técnicas de preprocesamiento dentro de Roboflow, donde las imágenes fueron sometidas a un proceso de redimensionamiento y normalización para estandarizar las entradas del modelo. Asimismo, se implementó el aumento de datos (data augmentation) mediante la aplicación de rotaciones, cambios de brillo y volteos con el objetivo de incrementar la variedad de los ejemplos y mejorar la capacidad de generalización del sistema.

Esta técnica permite mejorar la capacitación de generalización del modelo y evitar el sobreajuste, asegurando un rendimiento optimo ante nuevos datos. Para el proceso de desarrollo, el dataset final fue dividido de manera estructurada en tres subconjuntos independientes correspondientes al conjunto de entrenamiento (Train), el conjunto de validación (Valid) y el conjunto de prueba (Test).

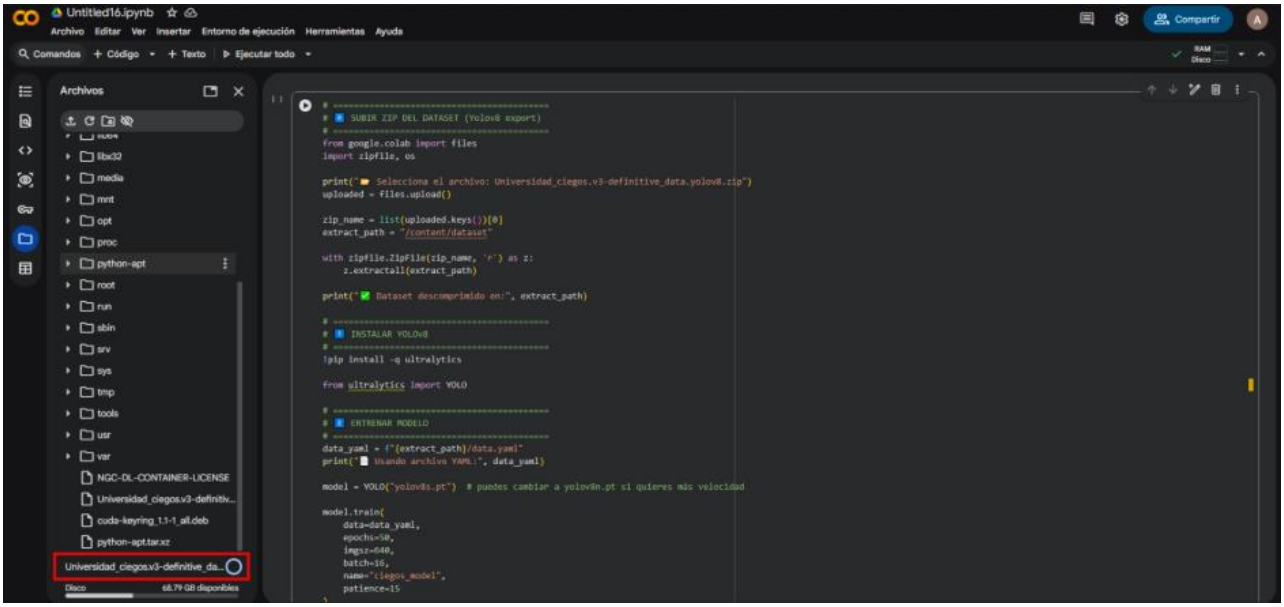
Figura 15.

División del dataset



Exportación del Dataset y Conexión con Google Colab

Una vez generado el dataset en Roboflow, este fue exportado en formato compatible con YOLOv8 y cargado manualmente en el entorno de Google Colab mediante un archivo comprimido (.zip).



El proceso inicio con la carga del archivo del dataset y su posterior descompresión dentro del entorno de trabajo, permitiendo acceder a la estructura de carpetas que contiene las imágenes y el archivo de configuración (data.yaml).

Figura 16.

Código para subir el dataset

```
# ========================================
# 0 SUBIR ZIP DEL DATASET (Yolov8 export)
# ========================================
from google.colab import files
import zipfile, os

print("📂 Selecciona el archivo: Universidad_ciegos.v3-definitive_data.yolov8.zip")
uploaded = files.upload()

zip_name = list(uploaded.keys())[0]
extract_path = "/content/dataset"

with zipfile.ZipFile(zip_name, 'r') as z:
    z.extractall(extract_path)

print("✅ Dataset descomprimido en:", extract_path)
```

Este procedimiento permitió organizar automáticamente el dataset en las carpetas de entrenamiento, validación y prueba.

Instalación de Librerías y Configuración del modelo

Posteriormente se instaló la librería Ultralytics, la cual permite trabajar con modelos YOLOv8 de manera eficiente.

Figura 17.

Código para instalar YOLO

```
# ========================================
# 1 INSTALAR YOLOv8
# ========================================
!pip install -q ultralytics

from ultralytics import YOLO
```

Esta librería proporciona funciones para entrenamiento, validación y predicción de modelos de detección de objetos en tiempo real.

Entrenamiento del Modelo con YOLO

El entrenamiento del modelo se realizo utilizando una arquitectura YOLOv8 preentrenada (yolov8s.pt), la cual fue ajustada mediante aprendizaje supervisado con el dataset creado. Se utilizo el archivo data. yaml, el cual contiene la configuración del dataset, incluyendo rutas y clases definidas.

Figura 18.

Código para entrenar el modelo

```
# ========================================
# 2️⃣ ENTRENAR MODELO
# ========================================
data_yaml = f"{extract_path}/data.yaml"
print("📄 Usando archivo YAML:", data_yaml)

model = YOLO("yolov8s.pt")  # puedes cambiar a yolov8n.pt si quieres más velocidad

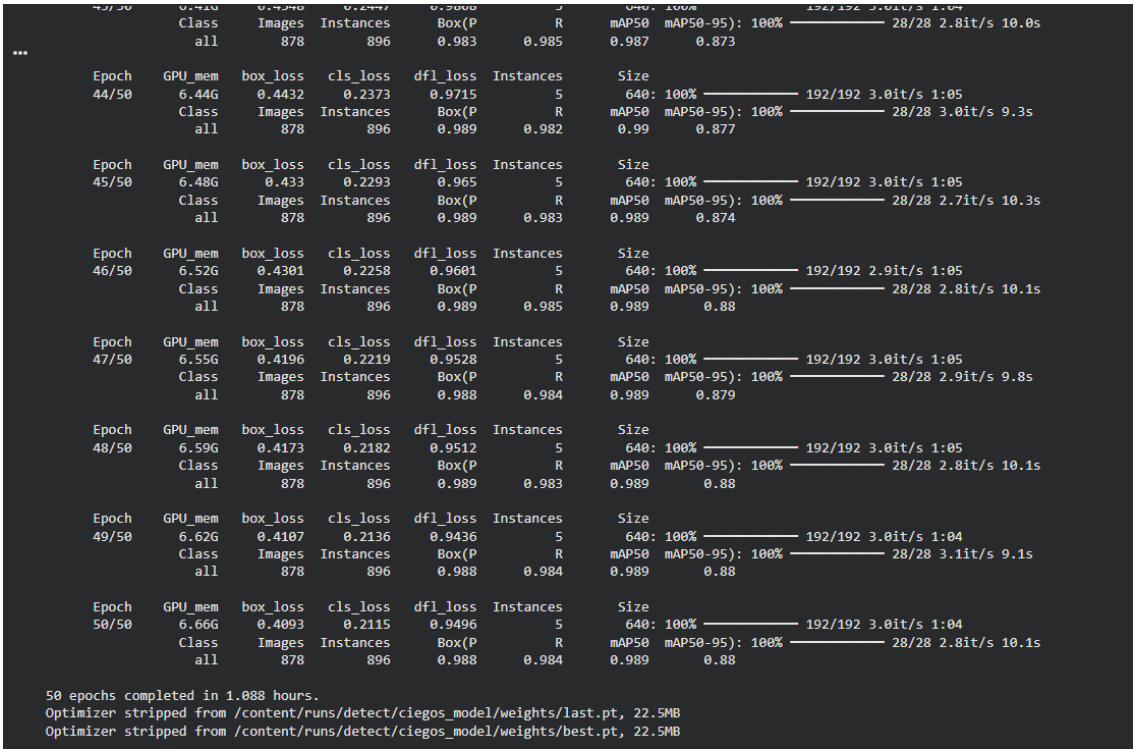
model.train(
    data=data_yaml,
    epochs=50,
    imgsz=640,
    batch=16,
    name="ciegos_model",
    patience=15
)
```

- Epoch=50 →Numero de iteraciones de entrenamiento
- Imgsz=640 →Tamaño de imagen procesada
- Batch=16 →Numero de imágenes por iteración
- Patience=15 →detiene el entrenamiento si no hay mejora

Este proceso permite que el modelo aprenda a identificar patrones visuales asociados a los objetos definidos.

Figura 19.

Ejecución del código por épocas



Validación del Modelo

Una vez finalizado el entrenamiento, se realizó la validación del modelo con el fin de evaluar su desempeño utilizando datos no vistos previamente.

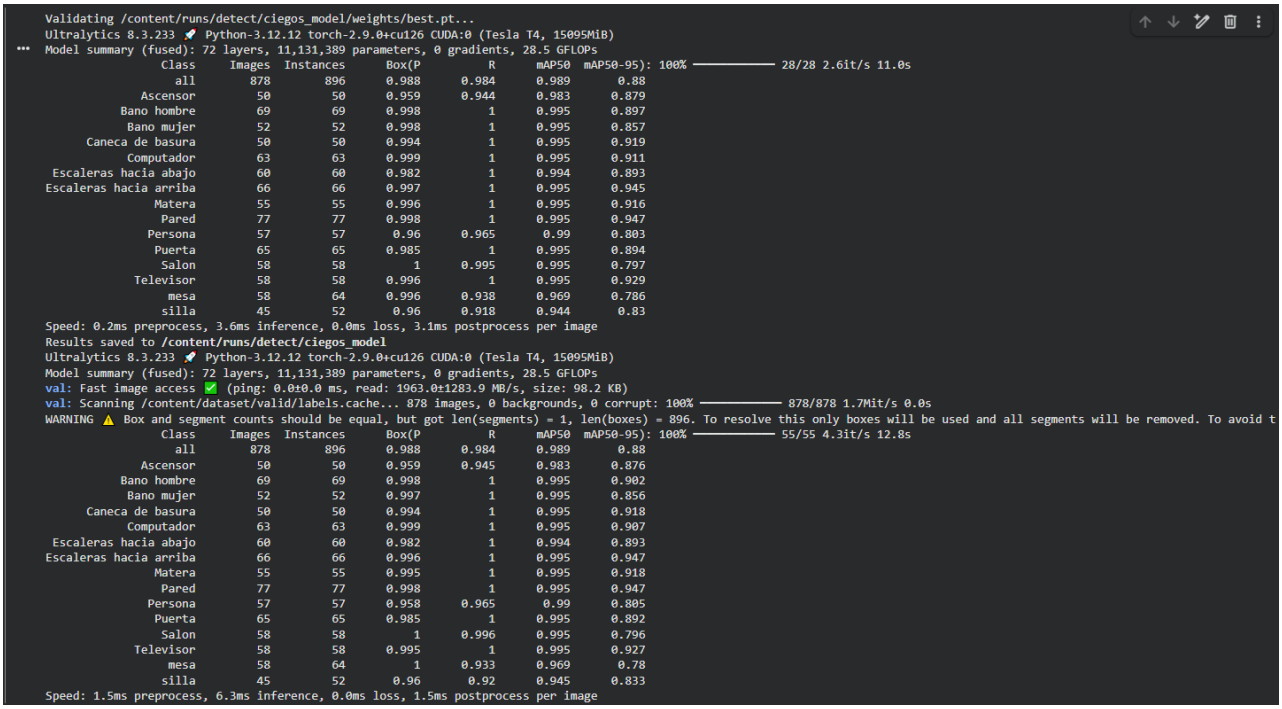
Figura 20.

Código de validación del modelo

```
# ========================================
# 3 VALIDACIÓN
# ========================================
model.val()
```

Figura 21.

Ejecución de la validación del código



En esta etapa se obtienen métricas como la precisión (Precision), el Recall y la precision promedio media (mAP, por su siglas en ingles), las cuales permiten evaluar de formas cuantitativa y rigurosa la calidad del modelo entrenado.

Pruebas del Modelo sobre Imágenes

Se realizaron pruebas del modelo utilizando imágenes del conjunto de test, con el fin de verificar su capacitación de detección en escenarios reales.

Figura 22.

Código para la ejecución de pruebas de imágenes

```
# ============================================
# 4 PRUEBAS SOBRE IMÁGENES DEL TEST
# ============================================
model.predict(
    source=f"{extract_path}/test/images",
    save=True,
    conf=0.5
)
```

Figura 23.

Ejecución de las pruebas

```
image 430/438 /content/dataset/test/images/IMG-20251124-WA00bd_jpg.rf.cbe5b0b8bbbb3fa07c2cbf9fd/daeab3.jpg: 640x480 1 Computador, 11.6ms
image 431/438 /content/dataset/test/images/IMG-20251124-WA0090_jpg.rf.3fce9c896a225439aca420815418127c.jpg: 640x480 1 Computador, 11.6ms
image 432/438 /content/dataset/test/images/IMG-20251124-WA0092_jpg.rf.1d82312e1280c71c36dd191aa1870628.jpg: 640x480 1 Bano mujer, 11.6ms
image 433/438 /content/dataset/test/images/IMG-20251126-WA0027_jpg.rf.76113790450ab26acc86d6d2583d1b77.jpg: 640x480 1 mesa, 11.6ms
image 434/438 /content/dataset/test/images/IMG-20251126-WA0036_jpg.rf.647e870209e67884e50284593c8820ad.jpg: 640x480 1 mesa, 11.6ms
image 435/438 /content/dataset/test/images/IMG-20251126-WA0044_jpg.rf.a16282135749c42dce219b7eee4fa40d.jpg: 640x480 1 mesa, 11.9ms
image 436/438 /content/dataset/test/images/b7023c40568048e39a08d77cecfd7174_jpg.rf.654342af767f5cfc016cd88caf578b2b.jpg: 640x512 1 Persona, 13.1ms
image 437/438 /content/dataset/test/images/bfad6317177744d2b36ad1d648454eb2_jpg.rf.715a39fa045ea98f871685215a111489.jpg: 640x544 1 Persona, 47.0ms
image 438/438 /content/dataset/test/images/e5a448d7366a40aa843d033a2a615613_jpg.rf.4f410ee150c5d10c3df66f220ac78eea.jpg: 640x640 1 Persona, 17.0ms
Speed: 2.7ms preprocess, 12.3ms inference, 1.4ms postprocess per image at shape (1, 3, 640, 640)
Results saved to /content/runs/detect/predict
[ultralytics.engine.results.Results object with attributes:

 boxes: ultralytics.engine.results.Boxes object
 keypoints: None
 masks: None
 names: {0: 'Ascensor', 1: 'Bano hombre', 2: 'Bano mujer', 3: 'Caneca de basura', 4: 'Computador', 5: 'Escaleras hacia abajo', 6: 'Escaleras hacia arriba', 7: 'Matera', 8: 'Pared',
9: 'Persona', 10: 'Puerta', 11: 'Salon', 12: 'Televisor', 13: 'mesa', 14: 'silla'}
 obb: None
 orig_img: array([[[ 84,  86,  86],
        [ 84,  86,  86],
        [ 88,  88,  88],
        ...,
        [  6,  12,   7],
        [ 10,  16,  11],
        [ 15,  21,  16]],

       [[ 91,  91,  91],
        [ 91,  91,  91],
        [ 92,  92,  92],
        ...,
        [  1,   7,   2],
        [  3,   9,   4],
        [  5,  11,   6]],

       [[ 88,  86,  85],
        [ 87,  85,  84],
        [ 87,  85,  84],
        ...,
        [ 10,  14,   9],
```

Conf=0.5 → Nivel mínimo de confianza para mostrar detecciones

Save=True → Guarda las imágenes con detecciones

Obtención del Modelo Entrenado

Como resultado del entrenamiento, el sistema genera automáticamente un archivo denominado:

Bestt.pt

Este archivo contiene los pesos del modelo optimizado y es el posteriormente se utiliza para ejecutar la detección en tiempo real.

Figura 24.

Archivo Bestt.pt



Implementación del Modelo en Python

El modelo entrenado fue integrado en un entorno de desarrollo local utilizando Python, permitiendo su ejecución en tiempo real mediante la cámara

Figura 25.

Código en Thonny

```python
from ultralytics import YOLO
import cv2

# Cargar modelo
model = YOLO("best_int8.tflite")

# Abrir cámara
cap = cv2.VideoCapture(0)

if not cap.isOpened():
    print("Error: no se pudo abrir la cámara")
    exit()

while True:
    ret, frame = cap.read()
    if not ret:
        break

    # Reducimos resolución para más velocidad
    frame = cv2.resize(frame, (416, 416))

    # Detectar
    results = model(frame, conf=0.4, imgsz=640, device="cpu", verbose=False)

    # Dibujar resultados
    annotated = results[0].plot(line_width=1)

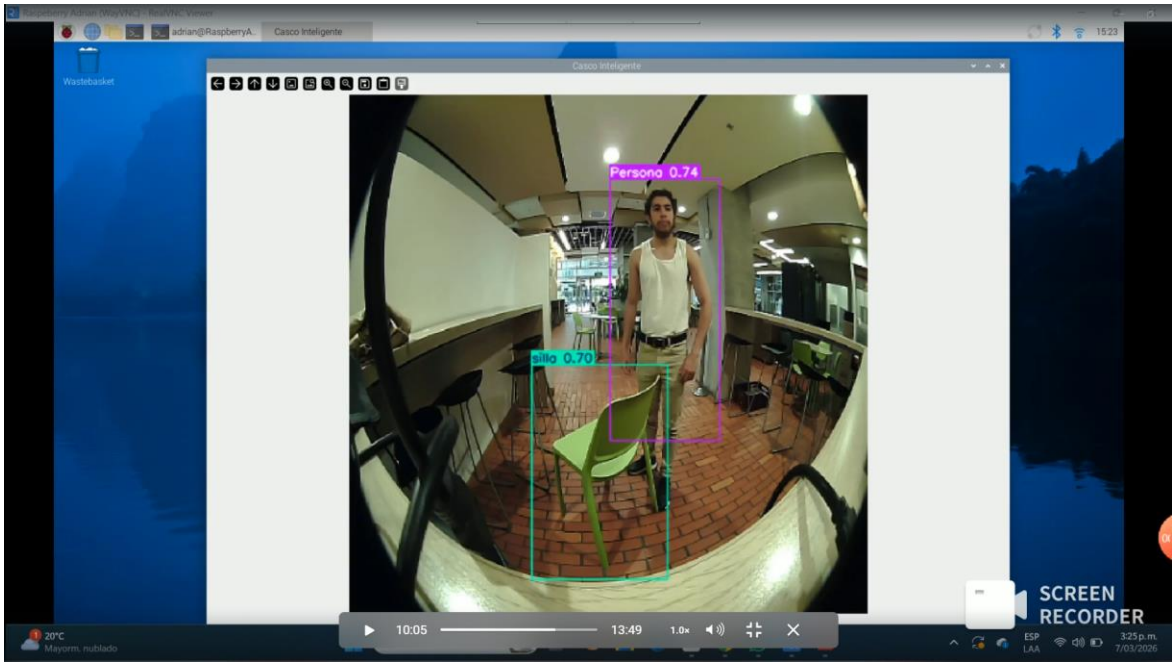
    # Mostrar
    cv2.imshow("Casco Inteligente", annotated)

    # Salir con tecla ESC
    if cv2.waitKey(1) == 27:
        break

cap.release()
cv2.destroyAllWindows()
```

Figura 26.

Ejecución de video del codigo



Fase 4: Implementación y Metodología de Evaluación del Prototipo

Integración del Sistema

En esta fase se realizó la integración de los diferentes componentes desarrollados en etapas anteriores, con el fin de construir un prototipo funcional del sistema de asistencia. El casco impreso en 3D fue acondicionado para la instalación de la cámara y el sensor LiDAR los cuales fueron ubicados estratégicamente en la parte frontal para maximizar la captación de información del entorno. Por otro lado, los componentes de procesamiento y alimentación, como la Raspebrry Pi y la batería, fueron instalados en un chaleco, permitiendo una mejor distribución del peso y mayor comodidad para el usuario.

Figura 27.

Casco impreso



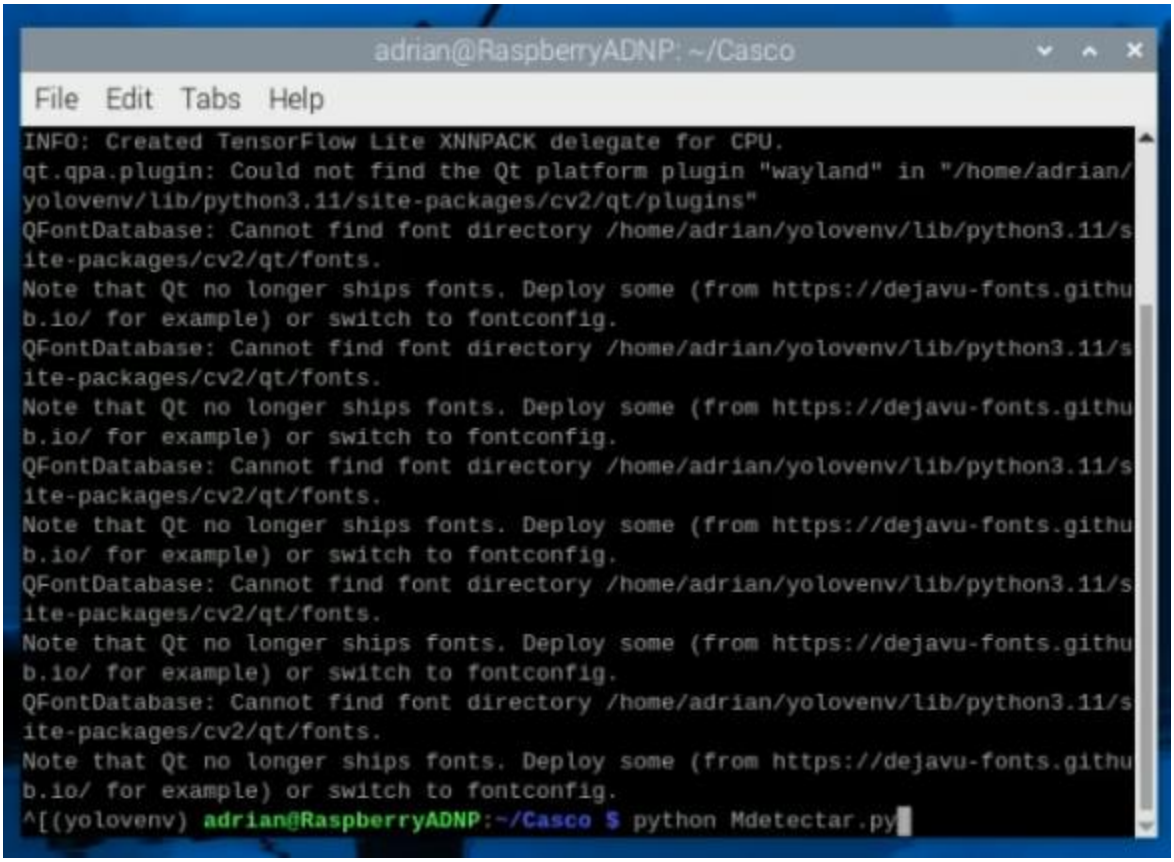
La conexión entre los componentes se realizo mediante cableado estructurado, asegurando la comunicación entre la cámara, el sensor y la unidad de procesamiento. Asimismo, el sistema de audio fue conectado a la Raspberry Pi para proporcionar retroalimentación en tiempo real.

Configuración del Sistema en la Raspebrry Pi 5

Una vez ensamblado el sistema, se realizó la configuración del entorno de ejecución en la Raspberry Pi donde se cargo el modelo entrenado (Bestt.pt) y se instalaron las librerías para su funcionamiento Se configuro el entorno en Python, incluyendo librerías como OpenCV y Ultralytics, necesarias para la captura de video y ejecución del modelo de detección de objetos.

Figura 28

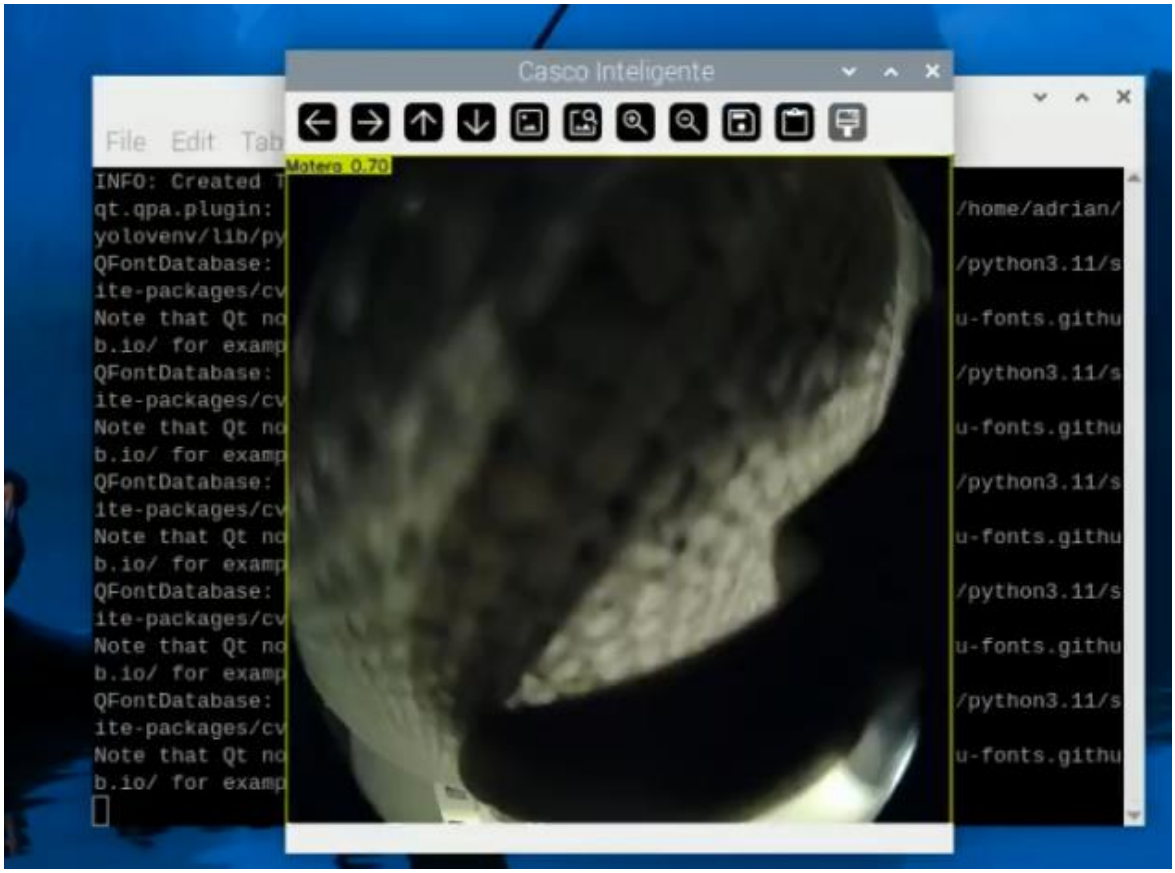
Comando ejecución del programa en terminal de Raspberry



Además, se realizaron pruebas iniciales de funcionamiento para verificar la correcta comunicación entre los dispositivos (Cámara, Sensor y Salida de audio).

Figura 29.

Ejecución del programa



Definición de Criterios de Evaluación

Con el fin de medir el desempeño del sistema, se establecieron los siguientes criterios clave que evalúan tanto su rendimiento algorítmico como su robustez operativa. Estos parámetros incluyen la precisión de detección, orientada a medir la capacidad del sistema para identificar correctamente los objetos, y el tiempo de respuesta, que analiza la velocidad con la que se procesa y comunica cada detección. Asimismo, se determinó evaluar la estabilidad del sistema para asegurar su funcionamiento continuo sin fallos, junto con la usabilidad, enfocada en validar la facilidad de uso de la solución tecnológica bajo condiciones simuladas de operación.

Estos criterios permiten evaluar de manera integral tanto el rendimiento técnico como la funcionalidad práctica del prototipo.

Instrumentos de Recolección de Información

Para la evaluación del sistema se definieron los siguientes instrumentos metodológicos específicos orientados a la obtención de datos cuantitativos y cualitativos. Entre estos se incluye una lista de chequeo estructurada para verificar minuciosamente las detecciones correctas e incorrectas, complementada con un registro automatizado del tiempo de respuesta de los algoritmos. De igual manera, se empleo la observación directa combinada con un registro en video continuo de los ensayos realizados, asegurando que estos instrumentos permitan recolectar información objetiva y robusta para facilitar el análisis.

Tabla 3.

Registro de detecciones y tiempos

Escenario	Objeto detectado	¿Correcto?	Tiempo (s)
Pasillo	Persona	Si	10
Pasillo	Matera	Si	32
Pasillo	Caneca de basura	Si	25
Pasillo	Ascensor	No	0
Pasillo	Pared	Si	24
Pasillo	Escalera hacia arriba	Si	13

Pasillo	Escalera hacia abajo	Si	13
Entrada	Puerta	No	0
Entrada	Salón	Si	11
Salón	Silla	Si	15
Salón	Mesa	Si	100
Salón	Computador	Si	46
Salón	Televisor	Si	43

Procedimiento de Evaluación

El procedimiento definido para la evaluación del sistema se ejecuta de forma secuencial e integrada. El proceso inicia con la colocación del casco y el sistema completo, seguido inmediatamente por la activación del programa de detección para dar inicio al recorrido por entorno universitario. A lo largo de esta simulación, se lleva a cabo el registro de cada detección realizada, la medición precisa de los tiempos de respuesta y la documentación mediante video de todo el ejercicio. Cabe destacar que, durante las pruebas, el evaluador simula la condición de una persona con discapacidad visual con el fin de analizar la utilidad real y la efectividad del sistema en condiciones cercanas a la realidad.

Costos

Directos

Componentes	Unidad	Costo (COP)

Raspberry Pi 5 (8 GB RAM)	1	$ 654.500
Cámara USB 1080p ojo de pez 180° (SVPRO módulo)	1	$ 367.249
Audio – auriculares	1	$ 12.000
Filamento de PLA	1	70.000
Soportes y fijaciones (cinta, cautin, estaño, jumpers)	1	15.000
Sensor LiDAR TF-Luna	1	$ 196.837
Regulador XL4015	1	$ 14.000
BMS 20 A dos celdas	1	$ 11.000
Baterías de litio 18650	2	$ 0
Costos de personal	1	$ 0
Licencias y herramientas de software (Versión gratuita)	1	$ 0
TOTAL	12	$ 1.340.586

Indirectos

Componente	Duración	Costo Mensual (COP)	Costo Total (COP)
Internet	4	$ 25.000	$ 100.000
Energía Eléctrica	4	$ 50.000	$ 200.000
TOTAL	8	$ 70.000	$ 300.000

Generales

Componente	Costo (COP)
Gerencia	$ 0
Publicidad	$ 0
TOTAL	$ 0

Análisis de resultados

El desarrollo del presente proyecto permitió implementar un prototipo funcional de casco inteligente multimodal orientado a la asistencia de movilidad para personas con discapacidad visual dentro del entorno de la Universidad EAN. A partir de las siguientes etapas desarrolladas durante la investigación, fue posible integrar tecnologías de visión artificial, sensores de distancia y retroalimentación auditiva en sistema portátil capaz de detectar elementos relevantes del entorno en tiempo real.

En relación con el primer objetivo enfocado en identificar las principales necesidades de movilidad y orientación dentro del campus universitario, se logró reconocer diferentes obstáculos y elementos presentes en las zonas, tales como puertas, escaleras, personas y muebles. El análisis del entorno permitió establecer cuales objetivos eran relevantes para el sistema de asistencia y cuales debían incluirse dentro del proceso de detección mediante inteligencia artificial. Asimismo, durante la revisión de antecedentes y tecnologías de asistencia se evidencio que muchas soluciones existentes presentan limitaciones relacionadas con cobertura de detección, costos elevados o baja adaptabilidad a entornos específicos. A partir de este análisis se identifico la necesidad de desarrollar una

solución multimodal que integrara diferentes tecnologías dentro de un único sistema portátil orientado al contexto universitario.

Respecto al segundo objetivo específico, relacionado con el diseño de la arquitectura del sistema, se logró establecer una integración funcional entre los diferentes componentes de hardware y software seleccionados para el proyecto. La arquitectura desarrollada permitió conectar el sistema de visión artificial, sensores de distancia, procesamiento y retroalimentación auditiva dentro de una estructura portátil adaptable al usuario. Durante esta etapa se determinó que la distribución de componentes era un aspecto relevante para garantizar comodidad y estabilidad durante el uso del prototipo. Como resultado, se decidió trasladar algunos elementos de procesamiento y alimentación energética hacia un chaleco complementario, reduciendo el peso directamente soportado por el casco y mejorando la ergonomía del sistema

En relación con el desarrollo del sistema de visión artificial, se logro construir un dataset enfocado en elementos relevantes del entorno universitario, permitiendo entrenar un modelo de detección de objetos orientado a escenarios reales de movilidad dentro del campus. El uso de plataformas de etiquetado y entrenamiento facilito la organización de las clases de interés y la estructuración de los conjuntos de entrenamiento, validación y prueba.

Posteriormente, se implemento un modelo basado en la arquitectura YOLOv8, seleccionado por su capacidad de procesamiento en tiempo real y su aplicabilidad en sistemas. Las pruebas preliminares evidenciaron que el modelo era capaz de reconocer diferentes objetos y obstáculos presentes dentro del entorno universitario, permitiendo generar alertas auditivas en función de las detecciones realizadas. Adicionalmente la

integración entre el sistema visión artificial y el sensor de distancia permitió complementar la percepción del entorno mediante la detección de proximidad, fortaleciendo la capacidad del prototipo para asistir procesos de movilidad y orientación. Esta integración multimodal represento uno de los principales aportes funcionales del proyecto, debido a que permitió combinar diferentes fuentes de información dentro de un único sistema de asistencia.

En cuanto a las pruebas funcionales del prototipo, se realizaron recorridos y validaciones en escenario controlador dentro del entorno universitario con el propósito de analizar el comportamiento general del sistema. Durante estas pruebas se observo que el prototipo era capaz de ejecutar procesos de detección y generación de retroalimentación auditiva en tiempo real informar al usuario sobre la presencia de determinados objetos y obstáculos dentro del entorno.

Sin embargo, también se identificaron algunas limitaciones relacionadas con condiciones de iluminación, variaciones en la velocidad de procesamiento y capacidad de detección en escenarios con múltiples objetos simultáneos. Estas observaciones permitieron reconocer oportunidades de mejora relacionadas con optimización del modelo, ampliación del *dataset* y fortalecimiento del sistema utilizado para el procesamiento.

A nivel general, los resultados obtenidos permitieron evidenciar la viabilidad técnica del desarrollo de un sistema portátil de asistencia basado en inteligencia artificial para apoyo a la movilidad de personas con discapacidad visual. Asimismo, el proyecto demostró la posibilidad de integrar tecnologías accesibles y estables dentro de soluciones orientadas a inclusión y accesibilidad en entornos universitarios. Los hallazgos obtenidos guardan coherencia con la pregunta de investigación y los objetivos planteados inicialmente, debido a que se logro implementar un prototipo funcional capaz de reconocer

elementos relevantes del entorno y proporcionar asistencia auditiva en tiempo real mediante el uso del inteligencia artificial y sensores de distancia. De esta manera, el proyecto permitió validar la aplicabilidad de tecnologías de visión artificial como herramienta de apoyo para procesos de movilidad asistida.

Propuesta de Solución a la Problemática

Situación Actual

La movilidad autónoma de personas con discapacidad visual continúa representando un desafío importante dentro de diferentes entornos urbanos y educativos. Aunque actualmente existen herramientas de asistencia como bastones tradicionales, dispositivos ultrasónicos y algunas soluciones electrónicas, muchas de estas presentan limitaciones relacionadas con cobertura de detección, interpretación del entorno, costos elevados o baja adaptabilidad a escenarios específicos.

Dentro del entorno universitario, estas limitaciones pueden afectar procesos de orientación, desplazamiento y reconocimiento de espacios, dificultando la autonomía y seguridad durante la movilidad. Adicionalmente la identificación de obstáculos elevados, elementos de señalización y cambios en la infraestructura representa una dificultad para los sistemas tradicionales de asistencia.

Por otra parte, el avance de tecnologías relacionadas con inteligencia artificial y sistemas embebidos ha permitido el desarrollo de nuevas alternativas orientadas a accesibilidad e inclusión. Sin embargo, muchas de estas soluciones continúan siendo poco accesibles o presentan dificultades de implementación dentro de contextos específicos como entornos universitarios.

Oportunidades Identificadas

A partir del análisis realizado durante la investigación, se identificó que la integración de tecnologías multimodales representa una oportunidad importante para fortalecer sistemas de asistencia orientados a personas con discapacidad visual.

El uso combinado de visión artificial, sensores de distancia y retroalimentación auditiva permite ampliar la capacidad de percepción del entorno facilitando procesos de reconocimiento de objetos, detección de obstáculos y orientación durante la movilidad. Asimismo, la utilización de modelos de inteligencia artificial entrenados específicamente con información del entorno universitario permite adaptar el sistema a escenarios reales de uso, mejorando la funcionalidad de la solución propuesta. De igual manera el empleo de plataformas de entrenamiento accesibles y hardware de bajo costo representa una oportunidad para desarrollar soluciones escalables y replicables en otros contextos educativos.

Otra oportunidad identificada corresponde al potencial de mejora futura del sistema mediante la incorporación de nuevas clases de detección, optimización del modelo de inteligencia artificial, integración de sistemas de navegación y fortalecimiento de la interacción auditiva con el usuario.

Propuesta de Solución

Como respuesta a la problemática identificada, se propuso el desarrollo de un casco inteligente multimodal orientado a la asistencia de movilidad de personas con discapacidad visual dentro del entorno universitario.

La solución plateada integra un sistema basado en inteligencia artificial, sensores de distancia y mecanismos de retroalimentación auditiva dentro de una estructura portátil adaptable al usuario. El funcionamiento del sistema se basa en la captura de imágenes del

entorno mediante una cámara integrada, el procesamiento en tiempo real de la información visual mediante un modelo de detección de objetos y la generación de alertas auditivas relacionadas con obstáculos y elementos relevantes para la movilidad. Adicionalmente el sistema incorpora sensores de distancia que complementan la percepción del entorno mediante la detección de proximidad, fortaleciendo la capacidad de asistencia durante el desplazamiento del usuario.

La arquitectura propuesta permite integrar diferentes componentes de hardware y software dentro de una solución adaptable y orientada a accesibilidad tecnológica. Además, el uso de modelos de inteligencia artificial entrenados con información del entorno universitario contribuye a mejorar la pertinencia de las detecciones y la funcionalidad general del sistema.

Finalmente, la propuesta desarrollada busca aportar al fortalecimiento de soluciones tecnológicas inclusivas mediante la aplicación de inteligencia artificial y visión artificial en contextos de movilidad asistida, promoviendo alternativas orientadas a autonomía, accesibilidad y seguridad para personas con discapacidad visual.

Discusión

Los resultados obtenidos durante el desarrollo del proyecto permitieron evidenciar la viabilidad de implementar un sistema de asistencia multimodal basado en inteligencia artificial para apoyar la movilidad de personas con discapacidad visual dentro del campus. A partir de las diferentes etapas desarrolladas, fue posible integrar procesamiento en tiempo real, detección de objetos y sensores de proximidad dentro de una solución portátil orientada a accesibilidad e inclusión tecnológica.

Los hallazgos obtenidos evidencian que las tecnologías de visión artificial y *Deep learning* representa una alternativa funcional para fortalecer sistemas de asistencia orientados a la movilidad autónoma. Esto se relaciona con diversos estudios analizados durante el estado del arte, en los cuales se identifico el uso creciente de redes neuronales convolucionales y modelos de detección de objetos en aplicaciones relacionadas con asistencia visual y navegación.

A partir de ello se logro identificar que el uso de modelos basados en arquitectura YOLO permite ejecutar procesos de detección de objetos en tiempo real dentro de sistemas, favoreciendo el desarrollo de soluciones portátiles orientadas a escenarios reales de movilidad. Asimismo, la integración entre inteligencia artificial y sensores de distancia permitió complementar la percepción del entorno y fortalecer la capacidad de asistencia del sistema. Uno de los principales aportes del proyecto corresponde a la contextualización del sistema dentro del entorno universitario. A diferencia de otros trabajos enfocados en escenarios generales, el presente proyecto planteo la construcción de un *dataset* orientado específicamente a elementos relevantes presentes dentro de la Universidad EAN, permitiendo adaptar el sistema a necesidades reales de movilidad dentro del campus.

De igual manera los resultados evidencian que la utilización de un enfoque multimodal representa una ventaja frente a sistemas de asistencia basados únicamente en sensores tradicionales. L combinación entre procesamiento visual, detección de proximidad y retroalimentación auditiva permitió ampliar la capacidad del sistema para interpretar información del entorno y generar alertas relacionadas con obstáculos y elementos relevantes para la movilidad. Sin embargo, durante el desarrollo del proyecto también se identificaron limitaciones relacionadas con condiciones variables de

iluminación, capacidad de procesamiento y disminución de precisión en escenarios con múltiples objetos simultáneos. Estos aspectos evidencian la necesidad de continuar fortaleciendo el modelo mediante optimización computacional y ampliación del dataset de entrenamiento. Se identifico también que la ergonomía y distribución de los componentes representan factores importantes dentro del diseño, por esta razón fue necesario reorganizar algunos componentes físicos con el fin de mejorar la comodidad y estabilidad del sistema durante su uso.

Finalmente, los resultados del proyecto permiten concluir que el desarrollo de un casco inteligente multimodal basado en inteligencia artificial constituye una propuesta viable y una herramienta de apoyo importante dentro de procesos de accesibilidad e inclusión para apoyar la movilidad asistida en personas con discapacidad visual dentro de entorno universitarios, aportando alternativas tecnológicas orientadas a mejorar la autonomía y la seguridad mediante sistemas inteligentes adaptados a contextos reales.

Plan de divulgación

El presente proyecto plantea la divulgación de sus resultados mediante un enfoque académico y tecnológico orientado a visibilizar el potencial de la inteligencia artificial como herramienta de apoyo para la movilidad asistida en personas con discapacidad visual. Como principal estrategia de divulgación, se propone la elaboración de un artículo académico enfocado en el desarrollo e implementación del casco inteligente multimodal, destacando aspectos relacionados con el diseño de la arquitectura del sistema, el uso de modelos de detección de objetos mediante inteligencia artificial y la integración de sensores orientados a accesibilidad e inclusión tecnológica. Este medio se considera adecuado debido a que permite comunicar los aportes del proyecto dentro de escenarios

académicos y de investigación relacionados con ingeniería, automatización e inteligencia artificial aplicada.

Como segunda estrategia, se plantea presentar la propuesta ante la Universidad EAN con el fin de evaluar su posible implementación como herramienta de apoyo para estudiantes o visitantes con discapacidad visual dentro del campus. Esta iniciativa permitiría analizar el potencial de aplicaciones real de la solución desarrollada y su contribución a los procesos de inclusión y accesibilidad promovidos por la institución. Adicionalmente realizar la postulación del proyecto a programas de innovación y emprendimiento como EAN Impacta, con el propósito de explorar oportunidades de fortalecimiento, validación y escalabilidad de la propuesta. Este escenario permitiría evaluar el potencial de evolución del prototipo hacia una solución tecnológicas con mayor alcance e impacto social. Asimismo, se contempla la participación en espacios institucionales y académicos de socialización como muestras de proyectos, eventos de innovación y presentaciones universitarias, con el propósito de dar a conocer el funcionamiento del prototipo y generar interés sobre el uso de tecnologías inteligentes aplicadas a inclusión y accesibilidad.

Se plantea la posibilidad de continuar el desarrollo del sistema mediante futuras etapas de optimización relacionadas con ampliación del dataset, mejorar del modelo de inteligencia artificial e incorporación de nuevos componentes como el Google Coral para mayor rendimiento, como nuevas funcionalidades orientadas a navegación y reconocimiento avanzado del entorno. Estas oportunidades podrían permitir una futura proyección hacia escenarios de innovación tecnológica o desarrollo de soluciones de asistencia más robustas. Para la ejecución de este plan se requeriría el acompañamiento de

la Universidad EAN, el apoyo de los docentes y acceso a espacios de divulgación académica e innovación. Como resultado esperado, se busca generar visibilidad sobre el proyecto, fomentar el interés por el desarrollo de soluciones inclusivas y promover futuras iniciativas de investigación, innovaciones orientadas a mejorar la calidad de vida de las personas con discapacidad visual.

Conclusiones

1. Se determino que las tecnologías tradicionales de asistencia para personas con discapacidad visual presentan limitaciones en la identificación e interpretación del entorno, especialmente en espacios universitarios. A partir del análisis realizado, se evidencio la necesidad de desarrollar soluciones que integren diferentes tecnologías para fortalecer la autonomía y seguridad durante la movilidad.

2. Se diseño una arquitectura funcional capaz de integrar inteligencia artificial, sensores de distancia, procesamiento embebido y retroalimentación auditiva dentro de solución portátil. La selección de los componentes permitió demostrar la viabilidad de implementar un sistema multimodal orientado a asistencia de movilidad en tiempo real.

3. El desarrollo del sistema con inteligencia artificial permitió validar el uso de modelos de inteligencia artificial para el reconocimiento de objetos relevantes dentro del entorno universitario. Asimismo, se evidencio la importancia de construir un *dataset* contextualizado que permita adaptar el desempeño del modelo a escenarios reales de aplicación.

4. La implementación e integración del prototipo demostraron que la combinación de inteligencia artificial y sensores de distancia constituyen una alternativa viable para apoyar la movilidad de personas con discapacidad visual. Los resultados obtenidos permitieron verificar la capacidad del sistema para detectar elementos del entorno y generar retroalimentación auditiva en tiempo real.

5. Aunque el prototipó alcanzo los objetivos plateados, se identificaron limitaciones relacionadas con condiciones de iluminación, capacidad de procesamiento y diversidad de datos de entrenamiento. Estas limitaciones representan oportunidades para futuras investigaciones enfocadas en optimización del modelo, ampliación del *dataset*, incorporación de sistemas de navegación y realización de pruebas con usuarios finales.

6. En términos generales, la investigación permitió dar respuesta a la problemática planteada, evidenciando que la aplicación de inteligencia artificial puede contribuir al desarrollo de tecnologías de asistencia mas accesibles, inteligentes e inclusivas para personas con discapacidad visual dentro de entornos educativos.

Referencias bibliográficas

Bousbia-Salah, M., Bettayeb, M., Larbi, A., & Benallal, A. (2011). Development of an electronic travel aid for the blind people. *International Journal of Computer Applications, 12*(2), 1–6. https://doi.org/10.5120/1684-2305

Dakopoulos, D., & Bourbakis, N. G. (2010). Wearable obstacle avoidance electronic travel aids for blind: A survey. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part C: Applications and Reviews, 40*(1), 25–35. https://doi.org/10.1109/TSMCC.2009.2021255

Lourens, T., Barakova, E., & Rauterberg, M. (2015). Indoor navigation for visually impaired people using a smartphone application. *Procedia Computer Science, 67*, 216–224. https://doi.org/10.1016/j.procs.2015.09.266

Tapu, R., Mocanu, B., & Zaharia, T. (2014). A computer vision-based assistive system for visually impaired people. *International Conference on Computer Vision Theory and Applications*, 3, 339–346. https://doi.org/10.5220/0004683903390346

Zhang, Y., Li, X., Wang, J., & Chen, L. (2020). Deep learning-based object detection for assistive navigation of visually impaired people. *IEEE Access, 8*, 170342–170352. https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.3023935

World Health Organization. (2023). *World report on vision*. World Health Organization. https://www.who.int/publications/i/item/world-report-on-vision

United Nations. (2018). *Disability and development report: Realizing the Sustainable Development Goals by, for and with persons with disabilities*. United Nations. https://www.un.org/development/desa/disabilities

Aladro, J., López, E., & Martín, A. (2019). Wearable obstacle avoidance electronic travel aids for blind: A survey. *IEEE Access, 7*, 195–213. https://doi.org/10.1109/ACCESS.2019.2891478

Bhowmick, A., & Hazarika, S. (2017). Smart assistive device for visually impaired people. *Procedia Computer Science, 105*, 94–100. https://doi.org/10.1016/j.procs.2017.01.197

Dakopoulos, D., & Bourbakis, N. (2010). Electronic travel aids for blind people: A review. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, 40*(1), 25–35.

García, A., Fernández, J., & Ruiz, P. (2020). Smart helmet system for visually impaired people. *Sensors, 20*(3), 1–15.

Hersh, M., & Johnson, M. (2008). *Assistive technology for visually impaired and blind people*. Springer.

Minaee, S., Boykov, Y., Porikli, F., Plaza, A., Kehtarnavaz, N., & Terzopoulos, D. (2021). Deep learning for object detection: A review. *Neurocomputing*, *409*, 1–17.

Pissaloux, E., Velázquez, R., & Maingreaud, F. (2018). A survey of cognitive and sensory aids for visually impaired people. *Sensors*, *18*(6), 1–32.

Redmon, J., Divvala, S., Girshick, R., & Farhadi, A. (2016). You only look once: Unified real-time object detection. In *Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition* (pp. 779–788).

Shoval, S., Ulrich, I., & Borenstein, J. (1998). NavBelt and the Guide-Cane. *IEEE Robotics & Automation Magazine, 10*(1), 9–20.

Zhao, Z., Zheng, P., Xu, S., & Wu, X. (2019). Object detection with deep learning: A review. *IEEE Transactions on Neural Networks and Learning Systems*, *30*(11), 3212–3232.

Baig, M., Gillani, S., Shah, S., Aljawarneh, M., Khan, A., & Siddiqui, M. (2024). AI-based wearable vision assistance system for the visually impaired.

Brilli, D., Georgaras, E., Tsilivaki, S., Melanitis, N., & Nikita, K. (2024). AIris: An AI-powered wearable assistive device for the visually impaired.

Chandra, S., Sharma, U., & Khilnani, D. (2025). A computer vision and depth sensor-powered smart cane for real-time obstacle detection and navigation assistance for the visually impaired.

Khan, S., Khan, M., Amin, J., & Samin, O. (2025). Intelligent assistive device for visually impaired people: A computer vision-based approach.

Universidad EAN. (2023). *Política de Diversidades e Inclusión*. Vicerrectoría de Humanidades y Bienestar Universitario. universidadean.edu.co

Goodfellow, I., Bengio, Y., y Courville, A. (2016). Deep Learning. MIT Press. http://www.deeplearningbook.org

Russell, S. J., y Norvig, P. (2020). Artificial Intelligence: A Modern Approach (4ta ed.). Pearson. https://aima.cs.berkeley.edu

Szeliski, R. (2022). Computer Vision: Algorithms and Applications (2da ed.). Springer Nature. https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-030-34372-9

Girshick, R., Donahue, J., Darrell, T., y Malik, J. (2014). Rich feature hierarchies for accurate object detection and semantic segmentation. En *Proceedings of the*

IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR) (pp. 580-587). https://arxiv.org/abs/1311.2524

IBM Think. (2024). *¿Qué es la detección de objetos?* IBM. https://www.ibm.com/es-es/think/topics/object-detection

Liu, W., Anguelov, D., Erhan, D., Szegedy, C., Reed, S., Fu, C. Y., y Berg, A. C. (2016). SSD: Single shot multibox detector. En *European Conference on Computer Vision (ECCV)* (pp. 21-37). Springer. https://arxiv.org/abs/1512.02325

MathWorks. (2021). *Reconocimiento de objetos*. MATLAB & Simulink. https://la.mathworks.com/solutions/image-processing-computer-vision/object-recognition.html

Redmon, J., Divvala, S., Girshick, R., y Farhadi, A. (2016). You only look once: Unified, real-time object detection. En *Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)* (pp. 779-788). https://arxiv.org/abs/1506.02640

Al-Fahoum, A. S., Al-Hmoud, H., y Al-Ghazawi, F. (2022). LidSonic for Visually Impaired: Green machine learning-based navigation system. *Electronics*, *11*(7), 1076. doi.org

Dumitru, A., Popescu, M., y Ionescu, C. (2024). Assistive helmet for visually impaired human beings. En *Proceedings of the International Conference on Advancements in Electronics and Computer Engineering (ICAECE)* (pp. 45-51). IEEE. ieee.org

Sharma, R. (2025). AI powered smart helmet for visually impaired. *International Journal of Research Publication and Reviews*, *6*(12), 1204-1211. https://ijrpr.com/uploads/V6ISSUE12/IJRPR57998.pdf [1, 2]

Al-Fahoum, A. S., Al-Hmoud, H., y Al-Ghazawi, F. (2022). LidSonic for Visually Impaired: Green machine learning-based navigation system. *Electronics*, *11*(7), 1076. doi.org [1]

Bai, J., Liu, Z., y Wang, Y. (2024). A comprehensive review of navigation systems for visually impaired individuals: Challenges and future trends. *Results in Engineering*, *22*, 102140. doi.org

Busaeed, S., Katib, I., Albeshri, A., Corchado, J. M., Yigitcanlar, T., y Mehmood, R. (2022). LidSonic V2.0: A LiDAR and Deep-Learning-Based Green Assistive Edge Device to Enhance Mobility for the Visually Impaired. *Sensors*, *22*(20), 7888. doi.org [1]

Dumitru, A., Popescu, M., y Ionescu, C. (2024). Assistive helmet for visually impaired human beings. En *Proceedings of the International Conference on Advancements in Electronics and Computer Engineering (ICAECE)* (pp. 45-51). IEEE. ieee.org

Ma, L., Patankar, S., y Rahman, M. (2025). Low-Cost Smart Cane for Visually Impaired People with Edge-Cloud Collaboration. *Information*, *16*(8), 707. doi.org

Sharma, R. (2025). AI powered smart helmet for visually impaired. *International Journal of Research Publication and Reviews*, *6*(12), 1204-1211. ijrpr.com