



Desarrollo y evaluación de un prototipo de entrenamiento inteligente para mejorar la movilidad y reducir la ansiedad en perros con discapacidad visual

Development and Evaluation of an Intelligent Training Prototype to Improve Mobility and Reduce Anxiety in Visually Impaired Dogs

Abigail Grillo¹, Sofía Ávila Marín²

A. Grillo, S. Ávila Marín, "Desarrollo y evaluación de un prototipo de entrenamiento inteligente para mejorar la movilidad y reducir la ansiedad en perros con discapacidad visual," *IDI+*, vol. 8, no 2, pp. 43-63, Ene., 2026.

 <https://doi.org/10.18845/ridip.v8i2.8430>

Fecha de recepción: 24 de junio de 2025

Fecha de aprobación: 2 de diciembre de 2025

1. Abigail Grillo
Estudiante de Ingeniería en
Diseño Industrial
Instituto Tecnológico de Costa Rica
Cartago, Costa Rica
abigail.grillo.v@gmail.com
 0009-0005-0783-9022

2. Sofía Ávila Marín
Estudiante de Ingeniería en
Diseño Industrial
Instituto Tecnológico de Costa Rica
Cartago, Costa Rica
sofia.avila.mn@gmail.com
 0009-0004-9735-475X

Resumen

La pérdida de visión en perros, con implicaciones en la ansiedad y el bienestar, demanda soluciones tecnológicas avanzadas, dado que el mercado se limita a enfoques rudimentarios. Por lo que este proyecto se propuso desarrollar un dispositivo inteligente para apoyar la movilidad y reducir la ansiedad en perros con discapacidad visual. Para ello, se empleó la metodología de diseño del Instituto Tecnológico de Costa Rica, estructurada en fases iterativas, para guiar el desarrollo. El prototipo incorpora un sensor de proximidad (Sharp GP2Y0A21YKOF) y un módulo Micro Arduino ATmega32U4, diseñados para activar alertas multimodales (*buzzer* y motor de vibración). Un botón permite al usuario propietario seleccionar el modo de alerta más adecuado a las necesidades de su mascota. Las pruebas de usabilidad se realizaron mediante la observación directa de cinco parejas de dueños y perros (talla S, edad > 8 años) durante 20 minutos. El hallazgo principal validó la hipótesis de diseño: el 80% de los perros participantes logró asimilar el uso físico del dispositivo mediante un breve entrenamiento de refuerzo positivo, lo que confirma la factibilidad del aprendizaje en la población *senior*. Las observaciones cualitativas justificaron mejoras esenciales, como la adición de una faja de sujeción para la estabilidad y la remoción de la protuberancia del vibrador. Por su parte, el análisis de mercado confirma la innovación de la propuesta, al no identificar soluciones inteligentes que atiendan el deterioro visual canino. La principal limitación metodológica fue la ausencia de la validación cuantitativa de los parámetros de alerta (decibeles e intensidad de vibración) por razones éticas. Por lo tanto, el proyecto establece una base sólida para el trabajo futuro, demostrando el potencial del diseño centrado en usuarios no humanos para mejorar la autonomía y el bienestar animal.

Palabras clave

Discapacidad visual canina; dispositivo de asistencia; ansiedad en perros; diseño centrado en el usuario; bienestar animal.

Abstract

Vision loss in dogs, with implications for anxiety and welfare, demands advanced technological solutions, as the market is currently limited to rudimentary approaches. This project aimed to develop an intelligent device to support mobility and reduce anxiety in visually impaired dogs. The iterative design methodology of the Costa Rica Institute of Technology was employed. The prototype integrates a proximity sensor (Sharp GP2Y0A21YKOF) and a Micro Arduino ATmega32U4 module, designed to activate multimodal alerts (*buzzer* and vibration motor) upon detecting an obstacle. A button allows the owner to select the most suitable alert mode for their pet's individual needs. Usability tests, conducted through direct observation with five pairs of owners and senior dogs (age >8 years), validated the design hypothesis. A key

and verifiable result was obtained: 80% of the participating dogs successfully assimilated the physical use of the device through brief positive reinforcement training, confirming the feasibility of learning in the senior population. Qualitative findings justified essential design improvements, such as the addition of a fastening strap to optimize stability and the refinement of the casing. Market analysis confirms the innovation of the proposal by not identifying intelligent solutions that actively address canine visual impairment. The main methodological limitation was the absence of quantitative validation for the alert parameters (decibels and intensity), a decision based on ethical criteria. Therefore, the project establishes a solid foundation for future work, emphasizing that the next critical steps involve the calibration and validation of the alert effectiveness with animal behavior experts in controlled environments, ensuring safety and welfare.

Keywords

Canine visual impairment; assistance device; dog anxiety; user-centered design; animal welfare.

Introducción

En la actualidad, las mascotas forman parte fundamental de la vida de muchas personas, desempeñando roles tanto de animales de trabajo como de compañía. Tan significativa es esta conexión que, para el 2024, se estima que el 66% de los hogares estadounidenses tiene al menos una mascota, siendo los perros el tipo más frecuente, con un 44.6% del total de mascotas [1]. Aunque no se dispone de datos exactos para Costa Rica o Latinoamérica, es probable que la situación costarricense sea similar, lo que implica una necesidad significativa de soluciones específicas para la salud y el bienestar canino en una gran cantidad de hogares.

La preocupación de los propietarios por sus mascotas sigue en aumento, al punto en que los perros son considerados parte de la familia e incluso hijos por el 82% de los dueños pertenecientes a la generación Milenial (29-44 años), el 75% de los Gen X (45-65 años) y el 70% de los Gen Z (13-28 años) [2]. Esta tendencia ha impulsado un auge en el mercado de cuidado canino a nivel mundial, el cual, solo en el año 2024, alcanzó los \$206 000 millones de dólares, siendo el continente norteamericano el mayor comprador [3]. Por lo tanto, se evidencia que los dueños consideran el bienestar físico y psicológico de sus perros una prioridad.

Entre las discapacidades físicas que mayores consecuencias psicológicas conllevan en los perros, se encuentra la pérdida parcial o completa de la visión. Esta condición preocupa a los dueños; además, entre los principales síntomas de la ceguera, se encuentran la ansiedad y depresión en estos animales [4]. Las causas principales de deterioro visual en perros incluyen el glaucoma, la atrofia retinal progresiva, cataratas y la vejez [5]. Aunque la pérdida de vista no es tan común como otras dolencias, el 1.7% de los perros en Norteamérica sufre de glaucoma,

la principal causa de pérdida de visión [6], lo que equivale a alrededor de 2.2 millones de perros [7][8][9].

Según este contexto, esta investigación busca comprender el deterioro de la calidad de vida de los perros con problemas de la vista, para, posteriormente, desarrollar un dispositivo inteligente que atienda a esta necesidad. Un objeto inteligente es un dispositivo de uso cotidiano que interactúa con otros productos, personas y sistemas de tecnologías de información en formas totalmente nuevas; perciben, mediante sensores, una situación en un contexto-entorno y son capaces de interpretar dicha información basándose en algoritmos para actuar en consecuencia, con cierto nivel de autonomía, así como mejorar la experiencia del usuario [10].

En esencia, un dispositivo inteligente aprovecha la tecnología para resolver necesidades del día a día de forma innovadora. Para el desarrollo de este dispositivo, se estableció la siguiente hipótesis de diseño: desarrollar un *gadget* inteligente y portátil que utilice diferentes sensores electrónicos o estímulos sensoriales para indicarle al perro que se acerca a un obstáculo; con el fin de evitar que se haga daño a sí mismo al colisionar, le brinde autonomía y disminuya los efectos psicológicos negativos en los perros y sus dueños.

Actualmente, no existe en el mercado un producto de carácter inteligente para este fin; las únicas alternativas son analógicas y altamente rudimentarias. Algunos ejemplos de este tipo de alternativas serían los productos con “halo” que consisten en un tipo arnés que se le coloca al perro con un objeto a nivel de la cabeza para que este colisione antes que el perro, más específicamente, se pueden ver productos como el Muffin’s Halo [11] o el Halo Harness [12]. También existen otros más tecnológicos, pero que no son *wearables* para el perro como el Ultrasonic Animal Repeller [13].

Metodología

Para el desarrollo del dispositivo inteligente de entrenamiento para perros con discapacidad visual, se adoptó la metodología de la Escuela de Diseño Industrial del Instituto Tecnológico de Costa Rica, la cual se estructura en cinco fases iterativas: Explorar, Comprender, Crear, Experimentar y Concretar. Esta elección se fundamenta en su capacidad para integrar la investigación social propia de metodologías centradas en el usuario, como Design Thinking [14], con la rigurosidad técnica característica de enfoques como el propuesto por Bruno Munari [15], lo que la hace idónea para proyectos de diseño y desarrollo tecnológico.

La fase inicial, Explorar, se centró en la investigación y la empatización con las necesidades de los usuarios. Se llevó a cabo una extensa búsqueda bibliográfica sobre las principales causas de ceguera canina, los síntomas asociados a estas dolencias y un análisis de los productos existentes diseñados para perros con discapacidad visual.

Esta investigación permitió definir a dos usuarios potenciales clave: el perro con discapacidad visual, como usuario final del producto, y el propietario, responsable de la colocación y configuración del dispositivo. Para la recolección de datos, se emplearon las técnicas de observación directa y entrevistas semiestructuradas. Esto se llevó a cabo con tres parejas de dueños y sus perros con discapacidad visual, buscando comprender sus experiencias, desafíos cotidianos y necesidades. Los hallazgos de estas interacciones fueron sistematizados y jerarquizados en una lista de requisitos de diseño, lo que sirvió como guía fundamental para las fases siguientes.

Posteriormente, en la fase Comprender, la información y la lista de requisitos recopilados previamente fueron analizadas y sintetizadas para establecer el problema y los objetivos de diseño de manera clara y concisa. Este proceso culminó en la definición del concepto de diseño central: "Seguridad Portátil", el cual se definió como aquel que proporciona protección y confianza al usuario mientras se mueve o se desplaza. Dicho concepto delimitó los alcances del proyecto a: (a) Crear un prototipo funcional inteligente para perros con discapacidad visual; (b) Prototipar un modelo de interacción y percepción; y (c) Desarrollar *software* de programación para la traducción de la cercanía de un objeto a alertas perceptibles para el perro.

Adicionalmente, se llevó a cabo un análisis ergonómico crucial para el diseño del dispositivo. Se determinó que, para las dimensiones corporales caninas, la clasificación por peso es el equivalente a las tablas antropométricas humanas, permitiendo estandarizar las dimensiones sin importar la raza. Estas tablas son ampliamente utilizadas en la industria de productos caninos, en especialmente para vestimenta y elementos de sujeción como collares, garantizando la adaptabilidad del diseño.

La fase de Crear se dedicó a la generación de ideas y el desarrollo de alternativas de diseño. Se realizó una lluvia de ideas, que posteriormente permitió plasmar las soluciones en bocetos preliminares. Estos se evaluaron mediante una matriz de objetivos ponderados, verificando el nivel de cumplimiento de cada propuesta con los requisitos de diseño previamente establecidos. Si bien se obtuvo una alternativa con mayor nivel de cumplimiento, se optó por generar una nueva propuesta que integró los puntos fuertes de todas las opciones evaluadas, dando origen al primer diseño preliminar del dispositivo inteligente de entrenamiento.

Este diseño preliminar fue prototipado y sometido a la fase Experimentar, la cual representó la etapa más iterativa de la metodología. Se elaboraron dos prototipos para las pruebas de usuario y se llevó a cabo un proceso cíclico de evaluación y mejora en términos de usabilidad del usuario dueño y comodidad del usuario perro.

Prototipo funcional (electrónico): se desarrolló un prototipo funcional utilizando un circuito con un procesador Arduino, gafas comerciales de protección y el módulo impreso en 3D que contiene un botón y luces led. Este prototipo se usó únicamente con los usuarios dueños,

para evaluar la facilidad de uso, comprensión e intuición en la interacción y configuración del dispositivo.

Prototipo perceptual: fabricado a escala real (talla S, para perros de 4 a 11 kilogramos), también utilizando unas gafas comerciales de protección para mascotas ya probadas en el mercado y el módulo impreso en 3D. Esta decisión de adquirir las gafas de una marca comercial fue fundamental para minimizar los riesgos a la salud y la seguridad del animal, ya que el uso de un producto probado evita posibles defectos o riesgos asociados al prototipado de la carcasa de la visera en 3D. Este prototipo perceptual se utilizó para pruebas directamente con los perros (usuario final), evaluando su comodidad y la eficiencia del entrenamiento conductual inicial para la asimilación del uso del producto en perros adultos mayores.

Protocolo de pruebas de usuarios

Las pruebas de usuario se realizaron con un total de cinco parejas de dueños y sus perros en una sesión individual de aproximadamente 20 minutos, en un ambiente calmado y silencioso sin presencia de otras personas o animales. Los perros participantes en esta muestra fueron incluidos, pues todos cumplían con presentar algún nivel de deterioro visual confirmado, edad dentro del rango de perros *senior* (>8 años) y correspondientes a la talla S según la clasificación por peso (4-11kg). Esto permitió controlar la variabilidad morfológica y enfocar la evaluación en el usuario objetivo.

Protocolo de pruebas a los dueños: con el prototipo funcional, se les indicó la realización de una serie de tareas:

- Toma y observación del prototipo.
- Activación del producto en modo "Alerta auditiva" y posteriormente en "Alerta combinada".
- Apagado del dispositivo.
- Evaluación de la conexión del cargador (Puerto tipo C).

Se midió la usabilidad y la curva de aprendizaje para la interacción con el módulo y la comprensión de las luces indicadoras.

Protocolo de pruebas con perros: con el prototipo perceptual, se les dio indicaciones a los dueños de acciones por realizar con sus mascotas:

- Colocación del prototipo al perro.
- Acomodo del módulo en la nuca.
- Uso de *treats* (premios comestibles) como refuerzo positivo luego de cada acción y mientras se le pide al perro sentarse y caminar.
- Retiro del dispositivo.

Se observan los intentos del perro de quitarse el producto para evaluar la estabilidad del sistema de sujeción. Se revisa la comodidad del producto al ver si existen signos de incomodidad en el perro o dificultad de colocación o remoción del dueño. Además, se mide la comprensión del dueño sobre el proceso de entrenamiento inicial junto a la respuesta del perro a la instrucción con el dispositivo puesto, es decir, la asimilación del uso.

Por otro lado, es importante recalcar que, por tratarse de una fase inicial de desarrollo y por consideraciones éticas en el trabajo con animales, las pruebas con los perros no incluyeron la validación de la efectividad de las alertas sensoriales (vibratoria o auditiva) del sistema electrónico. Así mismo, el prototipo funcional electrónico y el perceptual se evaluaron de forma separada. Finalmente, la validación de la efectividad del estímulo en la navegación requiere de una prueba más rigurosa, que será el siguiente paso tras la evaluación de expertos veterinarios, con el fin de garantizar el bienestar y seguridad del animal.

Recolección y análisis de datos

A los usuarios propietarios, se les brindó una encuesta de salida en Google Forms con el fin de recopilar información más detallada sobre la experiencia, las percepciones de comodidad del animal y sugerencias de mejora. Paralelamente, el aplicador de la prueba realizó observaciones directas para registrar detalles no verbales relevantes para posterior análisis (ej. expresiones de confusión).

La información recopilada de las pruebas de usabilidad se analizó de dos maneras:

Análisis cuantitativo: los datos de las preguntas cerradas del cuestionario (edad del perro, nivel de deterioro visual y preferencia de modo de alerta) fueron tabulados y procesados mediante estadística simple (frecuencias y porcentajes). Así se describe cuantitativamente la muestra y se determinan preferencias del usuario dueño con respecto al tipo de alerta por usar, información pertinente al compararlo con la edad del perro o nivel de deterioro visual.

Análisis cualitativo: la información cualitativa obtenida de las preguntas abiertas del cuestionario (ej. primer pensamiento, dificultad de uso) y las observaciones del aplicador fueron tabuladas para permitir su análisis y comparación con el objetivo de identificar problemas recurrentes y sugerencias de mejora.

Finalmente, la fase Concretar se enfocó en la descripción del diseño refinado del dispositivo. Se elaboraron planos técnicos detallados que especifican las dimensiones del dispositivo, los materiales seleccionados y los componentes electrónicos empleados. Asimismo, se desarrollaron dibujos constructivos y diagramas que permiten visualizar la configuración final del producto, incluyendo la interacción de este con ambos usuarios: perro y propietario.

En esta fase, se proponen los siguientes componentes electrónicos y parámetros operativos que fueron utilizados exitosamente en el prototipo funcional:

- Microcontrolador: Arduino Micro ATmega32U4 5V.
- Sensor de proximidad: Sharp GP2Y0A21YK0F, 30 mA, 5.5V. Distancia de detección: 10-80cm.
- Emisor de alerta auditiva: Buzzer, 5V,12mm, 35mA, 95dBA.
- Emisor de alerta táctil: motor de vibración ROB-08449, 3V, 8mm.
- Indicadores de luz: led azul 3mm, 3.4V, 20mA.
- Botón pulsador 6x6x4.3mm, 12V, 50mA.
- Transistor NPN, 2N2222, 40V.
- Resistencia 220Ω y 1kΩ.

Sin embargo, como se mencionó previamente, estos parámetros operativos (intensidad de audio, vibración y distancia de detección) se deben validar en próximas pruebas con perros, dadas las limitaciones éticas y el tiempo necesario para llevar a cabo todo el proceso de entrenamiento de asimilación previo al entrenamiento de comprensión de alertas.

Resultados

En la fase de Experimentar, se cuenta con un prototipo funcional (Fig. 1), es decir, las capacidades que se proponen para el producto (cambio de modos de alerta, detección de proximidad y encendido de las alertas) sirven completamente, a través de la implementación de un circuito electrónico que, en conjunto con el módulo impreso en 3D, permite la realización de pruebas de usabilidad.



Fig. 1. Prototipo funcional utilizado en las pruebas de usuario.

Dichas pruebas se llevaron a cabo con una muestra de cinco parejas de dueños y sus perros. Donde el 100% de los perros participantes presenta cierto nivel de discapacidad visual confirmada, 60% deterioro moderado, 20% leve y 20% ceguera total como se detalla en la Tabla I.

TABLA I
DISTRIBUCIÓN DE LA MUESTRA DE PERROS SEGÚN SU NIVEL DE DISCAPACIDAD VISUAL

Nivel de discapacidad	Frecuencia(n)	Porcentaje (%)
Leve	1	20
Moderado	3	60
Avanzado	0	0
Ceguera total	1	20
Total	5	100%

Los perros utilizados en las pruebas se clasifican como *seniors* según su edad, donde el 80% se encontraba dentro del rango de 8 a 11 años y 20% mayor a 11 años, como se muestra en la Tabla II. Esto permite confirmar que los resultados de las pruebas se hicieron a una población de perros que puede llegar a tener mayores dificultades en el aprendizaje, lo cual es vital para verificar los protocolos de entrenamiento propuestos.

TABLA II
DISTRIBUCIÓN DE LA MUESTRA DE PERROS SEGÚN SU EDAD

Rango etario	Frecuencia(n)	Porcentaje (%)
Menos de 1 año	0	0
Entre 1 y 3 años	0	0
Entre 4 y 7 años	0	0
Entre 8 y 11 años	4	80
Más de 11 años	1	20
Total	5	100%

Respecto a la muestra de los usuarios propietarios, se cuantificó el nivel de experiencia en el manejo canino, lo cual es fundamental para asegurar la validez interna de los resultados de usabilidad y la confiabilidad en la ejecución del protocolo de pruebas. Esto se basó en la pregunta: ¿desde hace cuánto tiempo tiene perros? Los datos obtenidos se observan en la Tabla III, donde es posible determinar que el 100% de los participantes tienen mucha o bastante experiencia, ya que el 40% de estos los tienen desde su adolescencia y un 60% desde su infancia

TABLA III

RANGO DE TIEMPO DESDE EL QUE LOS PROPIETARIOS TIENEN PERROS

Rango de tiempo	Frecuencia(n)	Porcentaje (%)
Desde pequeño / infancia	3	60
Desde la adolescencia	2	40
Hace un par de años	0	0
Hace muy poco tiempo	0	0
Total	5	100%

En términos cualitativos, se presentan los resultados a través de una tabla de análisis categorial (Tabla IV), lo que permite mostrar de manera sintética las opiniones de los usuarios de prueba y las observaciones del aplicador.

TABLA IV

ANÁLISIS CATEGORIAL CUALITATIVO

Categoría	Hallazgo	Frecuencia	Decisiones de Diseño
Estabilidad y Sujeción	Se identificó un punto débil en la sujeción, pues los perros intentaban o quitaban el producto. Percepción de los usuarios dueños de “que iba a ser difícil de mantener en su lugar”	60% (3 de 5 perros)	Adición de una faja elástica que una las fajas laterales para estabilidad e implementación de cables más largos en la conexión del módulo a los componentes en la visera.
Usabilidad	El uso de un solo botón pulsador para el cambio de modos resultó altamente intuitivo a todos los usuarios. La morfología de la carcasa del módulo en donde se coloca el motor de vibración resultó ambigua, pues sugiere otro posible botón.	20% de ambigüedad del motor de vibración (1 de 5 personas)	Se considera la eliminación de la protuberancia del motor de vibración en la carcasa del módulo.

TABLA IV (CONTINUACIÓN)
ANÁLISIS CATEGORIAL CUALITATIVO

Confort	Resulta más cómodo para perros con pelaje facial largo. Usuario expreso, preocupación por que la falta de amortiguación pudiera causar lesiones.	20% (1 de 5 personas) de preocupación por la amortiguación	Confirmación del material de amortiguación (foam reticulado de polietileno, hipoalergénico). Si el perro se encuentra en los límites de peso de una talla, considerar tomar la talla menor o mayor según corresponda para más confort.
Entrenamiento y asimilación	Se determinó que el entrenamiento con refuerzo positivo (<i>treats</i>) y redirección de atención facilita la asimilación del uso físico del producto en perros adultos mayores. Los usuarios consideran el entrenamiento posible pero que requeriría tiempo.	80% (4 de 5 perros) asimilaron el uso del producto con entrenamiento breve	El éxito en la asimilación valida la hipótesis de que es factible entrenar a los perros, aún adultos mayores, para la interpretación de las alertas sensoriales, lo cual apoya la necesidad de desarrollar protocolos de entrenamiento y manuales gráficos como parte del producto final.
Configuración y alertas	Se consideró que la intensidad de la alerta auditiva puede llegar a ser molesta. Se expresa preocupación por alertas muy continuas.	20% (1 de 5 personas)	Se hace uso de una lógica de contador a nivel de código para evitar alertas continuas, si no se activa y desactiva el sensor por cierto tiempo. Se confirma la necesidad de una fase de pruebas avanzadas con supervisión veterinaria para calibrar la intensidad de las alertas.

Con base en los resultados de las pruebas de usuarios, en la fase Concretar, se llegó a una propuesta de prototipo avanzado final que es innovador y ergonómico para el usuario. El dispositivo inteligente de entrenamiento para empoderar la movilidad y reducir la ansiedad en perros con discapacidad visual incorpora un sensor de proximidad Sharp GP2Y0A21YK0F que, mediante código de programación, transmite una señal analógica al procesador Micro Arduino ATmega32U4 que se encuentra dentro del módulo. A partir de esta señal, el procesador activa el tipo de alerta que haya sido configurada por el usuario propietario. Para la auditiva, activa el *buzzer* y para la táctil, activa el motor de vibración, esto con el fin de advertir al perro cuando se encuentra demasiado cerca de un objeto, contribuyendo así a la prevención de posibles impactos.

La interacción para el cambio de modos de alerta y encendido/apagado se realiza a través de un botón pulsador ubicado en el módulo: una primera pulsación activa la alerta combinada (auditiva y vibratoria), una segunda activa solo la vibratoria, una tercera activa la auditiva y una cuarta apaga el dispositivo.

El análisis de mercado realizado también concluyó que no existe otro dispositivo igual a este; un dispositivo portátil que combine sensores y sistemas de alerta para asistir al perro con discapacidad visual en su desplazamiento, asegurando la originalidad e innovación del producto en el sector de *gadgets* para mascotas.



Fig. 2. Gafas inteligentes para perros con discapacidad visual

La distribución de las partes del prototipo se detalla en la Fig. 2. De arriba hacia abajo, se encuentra el domo de plástico, una carcasa protectora para el sensor de proximidad; la carcasa del *buzzer*, que contiene a este componente en su interior; la visera translúcida, que protege los ojos del perro; la amortiguación de la visera, que asegura comodidad; el pasador de fajas, que es la unión de la carcasa de la visera con las fajas; las fajas laterales, que permiten un ajuste óptimo; el recubrimiento del cable, cuya función es aislar y proteger las conexiones electrónicas; la faja del hocico, que ofrece otro punto de sujeción; las argollas de ajuste, que permiten la adaptabilidad del producto a la morfología del perro; la hebilla, que facilita la puesta y retiro del dispositivo; el módulo, que alberga el procesador ATmega32U4 que controla las funciones inteligentes de los demás componentes, el motor de vibración; los ledes que indican el modo del producto y el botón pulsador, todo soldado en una placa perforada.

Por último, el módulo trae un puerto tipo C para la recarga de la batería interna que, al ser conectado, enciende un cuarto led indicador en el módulo que está señalizado con iconografía, la cual referencia el estado de carga.



Fig. 3. Domo con sensor infrarrojo Sharp.

El domo y el sensor de proximidad Sharp se observan con más detalle en la Fig. 3. Este domo se encuentra en la parte superior de las gafas, entre los ojos, siendo esta la posición ideal para detectar objetos inmediatamente frente al perro, sin interferencias de otras partes corporales; a diferencia de si, por ejemplo, se hubiese usado una ubicación en el pecho, donde el hocico podría generar falsas alertas.



Fig. 4. Vista frontal del módulo

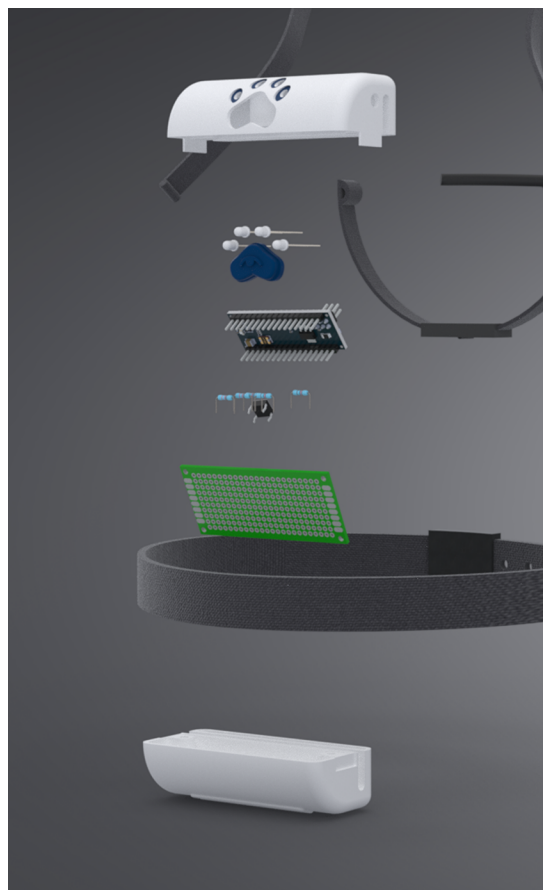


Fig. 5. Vista explosionada del módulo

El módulo se muestra en las figuras 4 y 5. Como se mencionó, funciona como carcasa para la mayoría del circuito, exceptuando el sensor de proximidad y el *buzzer*, además, es el centro de control del dispositivo al contener el procesador Micro Arduino. Este se manufacturó con impresión 3D usando ácido poliláctico (PLA), filamento termoplástico biodegradable. El módulo se ubica en la parte posterior del producto, entre las fajas laterales, es decir, una vez colocado, queda en la nuca del perro. La faja del collar lo atraviesa, asegurando así una unión ideal.

Esta posición se eligió por ser un área de alta sensibilidad en perros, donde la vibración se percibe sin ser molesta y por su fácil acceso para la interacción del dueño. Los ledes que indican el modo de alerta y el estado de la batería son claramente visibles tanto si el perro está de pie como acostado (Fig. 4). Además, la iconografía utilizada permite reconocer cada led del módulo, de izquierda a derecha: alerta combinada (auditiva y vibratoria), alerta vibratoria, alerta auditiva y el estado de la batería; este último parpadeando únicamente cuando el producto necesita ser cargado.



Fig. 6. Gafas.

En la Fig. 6, se señala la visera hecha de policarbonato, el cual es un material ligero y altamente resistente a impactos. Este, como se mencionó previamente, tiene la función de proteger los ojos del perro, pues en muchos casos, si se sufre de una discapacidad visual, esta área suele ser altamente sensible, por lo que la visera protege la zona contra impactos y condiciones ambientales irritantes; mientras que su traslucidez asegura que, si el perro tiene cierto nivel de visión residual, no se le prive de esta.

Por otro lado, la amortiguación de la visera está hecha de *foam* reticulado de polietileno que es un excelente absorbente de impactos, hipoalergénico y muy transpirable; se encuentra alrededor y detrás de la carcasa de la visera, proporcionando un acolchado entre la cara del perro y el dispositivo, lo que asegura comodidad y protección al evitar presión o fricción excesiva que pueda causar laceraciones.



Fig. 7. Carcasa buzzer, buzzer

En la Fig. 7, se observa la carcasa del *buzzer*, cuya función es contener y proteger este componente que emite las alertas auditivas del producto. Este *buzzer* se sitúa al costado izquierdo de las gafas (visto desde el frente), unido a la carcasa de la visera. Su ubicación cercana a las orejas del perro asegura la audición de la señal incluso aunque exista ruido en el ambiente.

Es importante destacar que el volumen de esta alerta se propuso relativamente bajo para la percepción humana, pero detectable para los perros, dado su sentido auditivo más desarrollado. Esta alerta auditiva es la más recomendada, ya que los perros confían ampliamente en el oído; sin embargo, también se cuenta con la alerta vibratoria para casos de sordera, condición que puede presentarse en perros de edad avanzada.

No obstante, es importante mencionar que la intensidad óptima (parámetros técnicos en decibeles y potencia de vibración) no se especificó en esta fase, debido a la limitación metodológica ética previamente establecida. Dicha calibración y validación de desempeño se posterga para fases futuras de investigación y desarrollo. Por otro lado, también se puede observar el cable que agrupa los cables de conexión del *buzzer* con los del sensor guiándolos hacia el módulo, además de unirlos, este cable también cumple la función de impermeabilizar y protegerlos.



Fig. 8. Fajas laterales, faja de hocico, collar y hebillas de ajuste.

Las hebillas del collar, las argollas de ajuste, la faja del hocico, las fajas laterales y el collar se muestran en la Fig. 8. Todos estos componentes y el material de Nylon elástico de las fajas permiten un ajuste personalizado del producto, función de gran importancia ante las diferencias morfológicas entre perros de la misma talla. Por ejemplo, un *bulldog* francés y un *fox terrier* pueden ser ambos talla M, pero el primero tiene un hocico mucho más ancho que el segundo, lo que resalta la importancia de la capacidad de ajuste. Además, aunque el producto incluye su propio collar de Nylon, los dueños tienen la opción de utilizar uno propio, ya que el sistema de unión del collar es intuitivo y fácil de usar.

Discusión

Como se mencionaba previamente, en la actualidad no se dispone de dispositivos inteligentes con las funciones presentadas en este proyecto que estén orientados al tratamiento de la discapacidad visual en perros. En su lugar, las soluciones existentes se basan en métodos rudimentarios o de baja tecnología. Por lo que esta limitante del mercado resalta la innovación de esta propuesta.

El hallazgo más significativo de la fase Experimentar fue la confirmación de la factibilidad del entrenamiento de asimilación del dispositivo en el 80% de la muestra de perros adultos mayores. Este resultado es crucial porque valida la hipótesis de que, al emplear el refuerzo positivo y el redireccionamiento de la atención, se superan los desafíos de adaptación en perros *senior*. Además, establece la base y viabilidad de la validación de la interpretación de las alertas, abordando de forma ética y gradual la introducción de nuevos estímulos. Si bien los usuarios manifestaron que el entrenamiento requeriría tiempo, la alta tasa de asimilación (80%) confirma que la capacidad de aprendizaje persiste en esta población objetivo.

En cuanto a la propuesta de uso de alertas multimodales, que permite al usuario propietario seleccionar entre alerta combinada, auditiva y táctil, esta se basa en el hecho de que, al igual que la pérdida de visión, la edad es un factor principal en la pérdida de audición en perros. Se estima que entre el 5% y 10% de los perros en Estados Unidos padecen sordera [16]. Por esta razón, aun cuando el sentido del oído es uno de los más confiables para los perros, se ofrece la alerta vibratoria como una opción de adaptación a la variedad de posibles padecimientos o condiciones que puede presentar un perro con discapacidad visual. La necesidad de esta variedad de alertas se validó durante la prueba de usabilidad, a través de la pregunta sobre la preferencia de modo de alerta (Tabla V).

TABLA V
PREFERENCIA DE LOS USUARIOS POR MODO DE ALERTA.

Modo de alerta	Frecuencia(n)	Porcentaje (%)
Alerta auditiva	1	20
Alerta vibratoria	2	40
Ambas	0	0
Depende de la situación	2	40
Total	5	100%

Como se observa, el 40% de los dueños manifestó que su elección de alerta sería la vibratoria y 40% que dependería de la situación, lo cual refuerza la indispensable inclusión de un sistema de retroalimentación sensorial diverso. El diseño final, por lo tanto, no se centra en una alerta única, sino en permitir al dueño que ajuste el estímulo a la necesidad específica de su mascota.

Por otro lado, con respecto a la preocupación de los usuarios por el peso del dispositivo y específicamente del módulo, que podría llegar a afectar la función muscular del perro, se tiene en cuenta que los perros no deberían cargar más del 25% de su peso corporal [17]. Considerando que el módulo se sitúa únicamente en la zona del cuello, se estima que la carga no debe superar el 6.25% ($\frac{1}{4}$ de 25%) de su peso total. Por ejemplo, en un perro de 10 kilos (talla S), el límite de confort sería de 625 gramos y el prototipo utilizado pesa considerablemente menos que eso (aproximadamente 258 g), manteniéndose así dentro de este rango de confort ergonómico.

De igual manera, el uso de una faja que una las fajas laterales, como se muestra en la Fig. 9, es una respuesta directa a la vital necesidad de brindar estabilidad al sistema de sujeción. Esta necesidad se evidenció durante la fase de Experimentar, donde el 60% de los perros lograron retirarse el prototipo usando las patas o sacudiéndose, lo que confirma la sospecha de un usuario que comentó: “Que iba a ser difícil de mantener en su lugar”. Esta fue la solución seleccionada, ya que ofrece estabilidad a nivel de la parte posterior de la cabeza sin afectar las uniones de las fajas laterales con el collar, las cuales son indispensables para la adaptabilidad morfológica a perros de diferentes razas. La mejora asegura que los perros puedan utilizar el producto en su día a día, ya sea en interiores o exteriores, minimizando el riesgo de un desprendimiento inesperado del dispositivo independientemente de la actividad.

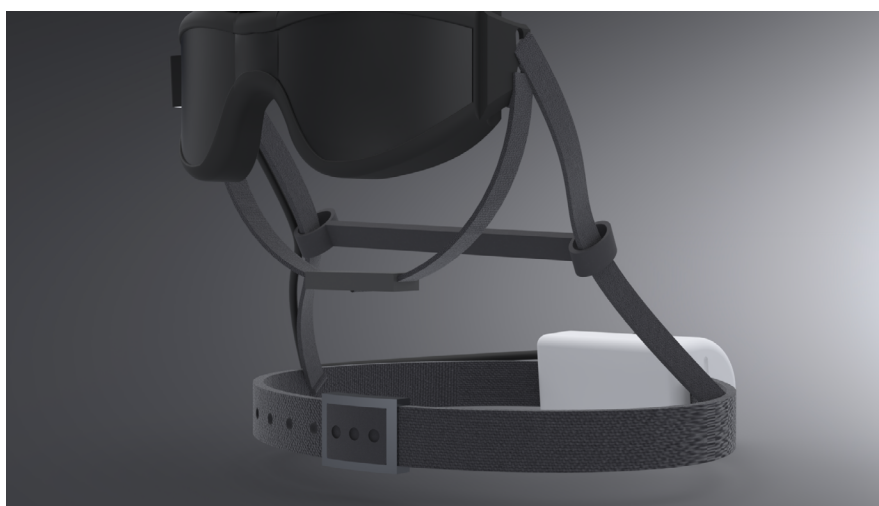


Fig. 9. Faja de unión posterior.

La principal limitación metodológica de este estudio, que guía la dirección del trabajo futuro, fue la ausencia de la validación de desempeño de las alertas (ej., métricas de intensidad de alerta en decibeles, distancia de reacción del sensor y tasa de colisiones evitadas). Esta limitación es deliberada y tiene un fundamento ético. La introducción y medición de estímulos sensoriales (auditivos y vibratorios) en animales, especialmente en perros adultos mayores con discapacidad visual, puede generar ansiedad o sobrecarga sensorial. Por lo tanto, se priorizó la evaluación del confort y la asimilación sobre la medición de la efectividad inmediata. Además, se establece que la validación de los parámetros operativos (los decibeles y la potencia de vibración) se llevará a cabo en una fase posterior, en un ambiente controlado y bajo la supervisión de expertos en comportamiento animal y veterinaria, como un requisito para garantizar el bienestar y la seguridad, fortaleciendo la validez científica del proceso.

Conclusiones

La presente investigación permitió comprender de manera integral cómo la discapacidad visual impacta la calidad de vida de los perros, especialmente en etapas avanzadas de edad, así como las implicaciones emocionales y prácticas que esto genera tanto en los animales como en sus propietarios. A partir del análisis del contexto social, del mercado y de las experiencias directas de usuarios reales, se evidenció una necesidad clara de soluciones más avanzadas, ya que las alternativas existentes se limitan a enfoques analógicos y no contemplan la asistencia activa durante el desplazamiento del perro.

Mediante la aplicación de la metodología de diseño de la Escuela de Diseño Industrial del Instituto Tecnológico de Costa Rica, fue posible estructurar un proceso riguroso que integró investigación centrada en el usuario, desarrollo técnico y evaluación iterativa. Este enfoque permitió definir con claridad el problema de diseño, establecer requisitos funcionales y ergonómicos, así como desarrollar un dispositivo inteligente coherente con las necesidades reales de los usuarios involucrados: el perro con discapacidad visual y su propietario.

Los resultados obtenidos en la fase de Experimentar demostraron que la hipótesis de diseño planteada es viable. En particular, se confirmó que los perros adultos mayores con deterioro visual pueden asimilar el uso físico del dispositivo mediante un entrenamiento breve basado en refuerzo positivo, incluso considerando las limitaciones propias de la edad. El hecho de que el 80% de los perros participantes lograra adaptarse al uso del producto valida la factibilidad de continuar hacia fases más avanzadas de entrenamiento e interpretación de alertas sensoriales.

Asimismo, las pruebas de usabilidad con los propietarios evidenciaron que la interacción con el dispositivo resulta intuitiva y comprensible, lo que es fundamental para garantizar una correcta configuración y uso continuo del producto. Por su parte, las observaciones cualitativas permitieron identificar oportunidades de mejora relacionadas con la estabilidad, el confort y la

percepción de ciertos componentes, las cuales se incorporaron en el refinamiento del diseño final, fortaleciendo su ergonomía y seguridad.

En cuanto a la propuesta tecnológica, el desarrollo de un sistema de alertas multimodales (auditiva y vibratoria) se consolida como una decisión pertinente, ya que responde a la diversidad de condiciones sensoriales que pueden coexistir en perros con discapacidad visual, como la sordera asociada a la edad. La posibilidad de que el propietario seleccione el tipo de alerta refuerza el carácter adaptable y personalizado del dispositivo, diferenciándolo de las soluciones disponibles actualmente en el mercado.

Finalmente, se reconoce como principal limitación del estudio la ausencia de una validación cuantitativa del desempeño de las alertas sensoriales. No obstante, esta decisión se sustenta en criterios éticos orientados a priorizar el bienestar animal. En este sentido, el proyecto establece una base sólida para investigaciones futuras, en las que se podrán calibrar y validar los parámetros técnicos del sistema bajo supervisión veterinaria y en entornos controlados. En conjunto, este trabajo aporta una propuesta innovadora dentro del campo del diseño de productos inteligentes para mascotas, demostrando el potencial del diseño centrado en el usuario como herramienta para mejorar la autonomía, seguridad y bienestar de perros con discapacidad visual.

Referencias

- [1] "Pet Ownership Statistics" Forbes Advisor. [En línea]. Disponible: <https://www.forbes.com/advisor/pet-insurance/pet-ownership-statistics/>. [Accedido: 5-mar-2025].
- [2] Statista Research Department, "Consumers viewing pets as children in the U.S. as of August 2023, by generations," Statista.com, ene. 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.statista.com/statistics/1465441/viewing-pets-as-children-us-by-generation/>. [Accedido: 10-mar-2025].
- [3] "Pet Care: Industry overview" Passport: Euromonitor. [En línea]. Disponible: <https://euromonitor.tec.elogim.com/portal/dashboard/dashboarddetails?id=d2aeb9de-01b3-43ea-be78-d26ddd7fffd2>. [Accedido:5-mar-2025].
- [4] O. Cortadella, "Ceguera en perros: evaluación clínica," Vets and Clinics. [En línea]. Disponible: <https://vetsandclinics.com/es/ceguera-en-perros-evaluacion-clinica>. [Accedido: 10-mar-2025].
- [5] A. T. Somma, F. Montiani-Ferreira, A. I. Schafaschek, "Surveying veterinary ophthalmologists to assess the advice given to owners of pets with irreversible blindness", *The Veterinary record*, 187 (4), e30, 2020. Disponible: <https://doi.org/10.1136/vr.105784>

- [6] K. N. Gelatt, "Glaucoma in Dogs," MSD Veterinary Manual, Revised Jun 2018, Modified Sept 2025. [En línea]. Disponible: <https://www.msdsvetmanual.com/dog-owners/eye-disorders-of-dogs/glaucoma-in-dogs>. [Accedido: 16-mar-2025].
- [7] "U.S. Pet Ownership Statistics," AVMA. [En línea]. Disponible: <https://www.avma.org/resources-tools/reports-statistics/us-pet-ownership-statistics>. [Accedido: 16-mar-2025].
- [8] "2022 Latest Canadian Pet Population Figures Released," CAHI. [En línea]. Disponible: <https://cahi-icsa.ca/press-releases/2022-latest-canadian-pet-population-figures-released>. [Accedido: 16-mar-2025].
- [9] "180mil perros callejeros," Congreso CDMX. [En línea]. Disponible: <https://www.congresocdmx.gob.mx/media/documentos/10614da616026d42c4f3eb1049722bddd1f1d7ab.pdf>. [Accedido: 16-mar-2025].
- [10] "Las diferencias entre un perro senior y un perro geriátrico," Kivet. [En línea]. Disponible en: <https://www.kivet.com/blog/cuidados-y-diferencias-perro-senior-y-perro-geriatrico/>. [Accedido: 13-mar-2025]. [11] "Pet store market segmentation in the U.S. by target group," Statista. [En línea]. Disponible en: <https://www.statista.com/statistics/254111/pet-store-market-segmentation-in-the-us-by-target-group/>. [Accedido: 13-mar-2025]
- [11] "Muffins Halo® Blind Dog Accessory – Navigation Aid Bumper Collar for Blind Dogs Builds Confidence and Protects from Surrounding Obstacles," Amazon.com. [En línea]. Disponible: <https://a.co/d/i9K7W5B>
- [12] "Fhiny Anti-Collision Blind Dog Halo, Pet Protection Ring, Dog Anti-Collision Ring, Confidence Building Bumper, Supplies Accessories for Blind Dogs," Amazon.com. [En línea]. Disponible: <https://a.co/d/8aBR9FP>.
- [13] "Ultrasonic Cat Repellent Outdoor Solar Powered Animal Repeller Dog Deterrent Waterproof Motion Sensor Deterrent for Yard Garden Farm Rabbit Squirrels Raccoon Fox(Green,2 Pieces)" Amazon.com. [En línea]. Disponible: <https://a.co/d/cgl6KBV>
- [14] T. Brown, "Design Thinking," *Harvard Business Review*, vol. 86, no. 6, pp. 84-92, Jun. 2008.
- [15] B. Munari, *¿Cómo nacen los objetos? Apuntes para una metodología proyectual*. Barcelona, España: Editorial Gustavo Gili, SL, 2016.
- [16] N. Maharaj, "Deafness in Dogs: Signs, Symptoms, Treatment," *American Kennel Club*, 2024. [En línea]. Disponible: <https://www.akc.org/expert-advice/health/deafness-in-dogs/>. [Accedido: 12-dic-2025]
- [17] Ruffwear, "Approach™ Dog Backpack | Pack for Dogs | Ruffwear," Ruffwear. <https://ruffwear.eu/products/hiking-dog-pack-approach#:~:text=It's%20recommended%20that%20your%20dog,used%20to%20wearing%20the%20pack>.