

SISTEMA ANTICOLISIÓN PARA INVIDENTES



JUAN DAVID ALVARADO CORAL

Tesis de Maestría en Automática

Directora:

Elena Muñoz España

Magíster en Electrónica y Telecomunicaciones

Universidad del Cauca

Facultad de Ingeniería Electrónica y Telecomunicaciones

Maestría en Automática

Popayán, mayo de 2018

JUAN DAVID ALVARADO CORAL

SISTEMA ANTICOLISIÓN PARA INVIDENTES

Tesis presentada a la Facultad de Ingeniería
Electrónica y Telecomunicaciones de la
Universidad del Cauca para la obtención del
Título de

Magíster en:
Automática

Directora:
Elena Muñoz España
Magíster en Electrónica y Telecomunicaciones

Popayán
2018

Dedicatoria

A Dios porque siempre ha estado en todo momento ayudándome y guiándome en mi vida.

A todos mis seres queridos por su gran apoyo incondicional, quienes son mi inspiración y ejemplo de superación.

*Quando mi mente se llenó de dudas,
tu consuelo renovó mi esperanza
y alegría*

SALMOS 94:19

Agradecimientos

Agradezco a Dios, a mis seres queridos, a la Universidad del Cauca, a mis asesores Víctor Hugo Mosquera, Elena Muñoz España, por sus ideas y recomendaciones respecto a esta investigación.

Resumen estructurado

Las personas con discapacidad visual, por lo general, utilizan el bastón blanco para percibir el entorno y poder guiarse en ambientes internos y externos, la información que proporcionan los bastones es limitada y no permite detectar fácilmente y con precisión los obstáculos. Existen varias propuestas tecnológicas para mejorar la movilidad de estas personas que incluyen variedad de herramientas, muchas de ellas presentan limitaciones como el no detectar obstáculos en movimiento y evadir colisiones, así mismo dependiendo de la ubicación de los accesorios que incorporan estas herramientas se detectan obstáculos en direcciones limitadas. Por otro lado, la inteligencia artificial (IA) se encuentra cada vez más presente en nuestras vidas, como en el transporte, en el reconocimiento de imágenes, en la aviación, en los hospitales, en la medicina, en la industria, en juegos y juguetes; presentando efectividad en la ejecución de sus tareas y facilitando la vida del ser humano.

Por lo anterior en la presente investigación se hace uso de esta herramienta, desarrollando un dispositivo con sensores de ultrasonido incorporados en un chaleco, con la funcionalidad de indicar al invidente los peligros de los objetos estáticos y en movimiento por medio de redes neuronales evolutivas (RNAEs); que a través del algoritmo genético proporcionan mayor capacidad de detección, evitando colisiones de manera efectiva, conservando la seguridad del invidente y proporcionando una ruta segura para su desplazamiento.

La metodología empleada se basa en la creación de redes neuronales artificiales a partir de un algoritmo genético cooperativo coevolutivo (AGCC), este se encarga de estructurar, modificar y entrenar las redes neuronales. Para ello se utiliza la matriz de

definición de red (MDR). Para la elaboración de una MDR se toma como base un cromosoma “parte del algoritmo genético”. Una vez esté realizada la MDR se crea una red neuronal artificial para luego ser entrenada, posteriormente se realizan las pruebas necesarias para verificar su funcionamiento y verificar la respuesta.

El programa realizó varias redes neuronales generando en cada ejecución 10 cromosomas que, al ser entrenados con el AGCC, aplicando la cooperatividad, se obtuvieron las mejores redes neuronales anticolidión, teniendo en cuenta un tiempo definido, funcionando efectivamente para la detección de obstáculos estáticos y con movimiento.

En el sistema anticolidión para invidentes se observó la eficacia de las redes neuronales en dar una respuesta, detectando objetos tanto estáticos como en movimiento proporcionando seguridad al invidente, evitando colisiones con estos.

Palabras claves

Algoritmo genético cooperativo coevolutivo; invidentes; sistema anticolidión; método neuroevolutivo; red neuronal artificial.

Structured abstract

People with visual impairment usually use white canes to perceive the environment and could be guided in indoor and outdoor environments; information provided by the canes is limited and does not allow easy and accurate access to obstacles. There are many technological proposals to improve the mobility of these people that include a range of tools, many of them present constraints such as not detecting obstacles in movement and evading collisions, likewise, it depends on the location of the accessories that incorporate these tools, obstacles are detected in limited directions. On the other hand, artificial intelligence (AI) is increasingly present in our lives, as in transport, image recognition, aviation, hospitals, medicine, heavy industry, games and toys; thus achieving a higher effectiveness facilitating the life of the human being.

Therefore, in the present investigation, this tool is used, developing a device with ultrasound sensors incorporated in a vest, with the functionality of indicating to the blind person the dangers of static objects and moving through evolutionary neural networks (RNAE); that through the genetic algorithm provide greater detection capacity, avoiding collisions effectively, preserving the safety of the blind person and providing a safe route for their displacement.

The methodology used is based on the creation of artificial neural networks from the cooperative co-evolutionary genetic algorithm (CCGA), which is responsible for structuring, modifying and training neural networks. For this, it uses the network definition matrix (MDN). For the elaboration of an MDN, a chromosome "genetic algorithm part" is taken as the basis. Once that is done, the MDN, an artificial neural

network is created to be trained, subsequently, necessary tests are performed to verify its operation and verify the response.

Program carried out several neural networks generating 10 chromosomes in each execution, which was trained with the CCGA and which applies the cooperation, obtaining the best anti-collision neural networks considering a definite time, effectively functioning for the detection of physical obstacles and with movement.

In the anti-collision system for blind people, we observed the effectiveness of neural networks to respond adequately, detecting both static and moving objects, providing security to the blind person, avoiding collisions with them.

Key Words

Cooperative co-evolutionary genetic algorithm; visually impaired; anti-collision system; neuro-evolutionary method; artificial neural network

Contenido

	Pág
Lista de Figuras.....	xii
Lista de Tablas.....	xiv
Lista de Gráficos.....	xvi
Capítulo 1.....	19
Introducción.....	19
1.1 Planteamiento del problema.....	19
1.2 Objetivos.....	21
1.2.1 Objetivo General.....	21
1.2.2 Objetivos Específicos.....	21
1.3 Organización de la tesis.....	21
Capítulo 2.....	23
Dispositivos de ayuda para invidentes.....	23
Capítulo 3.....	33
Técnicas de evasión de colisiones.....	33
Capítulo 4.....	37
Red neuronal evolutiva y uso de redes neuronales.....	37
4.1 Red neuronal recurrente.....	37
4.1.1 Modelo general de la red neuronal recurrente.....	38
4.1.2 Uso de redes neuronales recurrentes (RNR).....	41

4.2 Algoritmo genético.....	42
4.2.1 Algoritmo genético cooperativo coevolutivo (AGCC)	42
4.3 Red neuronal evolutiva.....	44
4.4 Uso de redes neuronales	51
4.4.1 Aplicaciones de Redes neuronales	51
4.4.2 Uso de redes neuronales como técnica anticolisión	52
Capítulo 5.	55
Diseño y funcionamiento del sistema anticolisión.....	55
5.1 Diseño del hardware	55
5.1.1 Proceso de construcción del dispositivo anticolisión para invidentes.....	61
5.1.2 Modo de operación dispositivo anticolisión para invidentes.....	68
5.2 Diseño del software.....	68
5.3 Software de funcionamiento.....	80
5.3.1 Calibración de los sensores	81
5.3.2 Implementación de la red evolutiva.....	86
5.4 Funcionamiento del algoritmo genético cooperativo coevolutivo y de la red neuronal recurrente.....	89
Capítulo 6.	91
Pruebas de funcionamiento	91
6.1 Pruebas en escenarios parte estática	91
6.1.1 Escenario 1, habitación.....	91
6.1.2 Escenario 2, sala.....	94
6.1.3 Escenario 3, sala con objetos en diferente posición	96
6.1.4 Escenario 4, escenario realizado con cajas.	98
6.2 Pruebas de detección de objetos en movimiento	112
6.2.1 Escenario 1 Pruebas con persona, balón y bicicleta.....	112
6.2.2 Escenario 2 Pruebas con vehículo y sensores delanteros.....	114
6.2.3 Escenario 3 Pruebas con vehículo y sensores posteriores.....	122
Capítulo 7.	131

Conclusiones y recomendaciones.....	131
Bibliografía	134

Lista de Figuras

	Pág.
Figura 4.1 Red neuronal recurrente [84].....	40
Figura 4.2 Funciones de activación [83].....	40
Figura 4.3 Algoritmo genético cooperativo coevolutivo [88].	44
Figura 4.4 Forma de codificar sub RNAs dentro de los cromosomas [102].....	47
Figura 4.5 Codificación de una RNA en forma de matriz de definición de red [102]..	48
Figura 4.6 Modus operandi de dos módulos de redes neuronales artificiales con tres subredes [102].....	49
Figura 4.7 Esquema evolutivo [102].	51
Figura 5.1 Análisis dispositivo del proyecto: Sistema de reconocimiento de obstáculos para movilidad de Invidentes.	56
Figura 5.2 Hardware del sistema.....	57
Figura 5.3 Distribución de los sensores en la parte frontal y posterior.	59
Figura 5.4 Arduino Mega	60
Figura 5.5 Módulo de sonido.	60
Figura 5.6 Baterías.....	61
Figura 5.7 Cajas para sensores izquierdo, derecho y superior.....	62
Figura 5.8 Caja del conjunto de los sensores posteriores.	62
Figura 5.9 Conjunto de sensores frontales.	63
Figura 5.10 Conjunto de sensores frontales.....	64

Figura 5.11 Circuito del sistema.....	65
Figura 5.12 Circuito componentes principales.....	66
Figura 5.13 Distribución de los componentes del circuito.	67
Figura 5.14 Chaleco con cubierta de tela para protección del circuito.	67
Figura 5.15 Diagrama de clases software.	68
Figura 5.16 Diagrama de clases generación red evolutiva.....	69
Figura 5.17 Matrices de definición de red elaboradas por el programa.....	75
Figura 5.18 Red neuronal evolutiva.....	75
Figura 5.19 Recta numérica de detección 1	76
Figura 5.20 Recta numérica de detección 2.....	76
Figura 5.21 Diagrama de clases del software de funcionamiento	80
Figura 5.22 Montaje de los sensores.	85
Figura 5.23 Funcionamiento del algoritmo genético cooperativo coevolutivo.	89
Figura 5.24 Funcionamiento de la red neuronal recurrente.....	90
Figura 6.1 Escenario 1	92
Figura 6.2 Bomba suspendida en el techo (medida real).	94
Figura 6.3 Escenario 2, sala.....	95
Figura 6.4 Mesa mediana (medida real).....	96
Figura 6.5 Escenario 3 sala con objetos en diferente posición.....	97
Figura 6.6 Silla 1 (medida real).	98
Figura 6.7 Escenario realizado con cajas.....	99
Figura 6.8 Detección de persona, balón y bicicleta.	113
Figura 6.9 Detección de vehículo en movimiento con sensores delanteros.....	115
Figura 6.10 Detección de vehículo en movimiento con sensores posteriores.	123

Lista de Tablas

	Pág.
Tabla 2.1 Análisis dispositivos para invidentes parte 1	30
Tabla 2.2 Análisis dispositivos para invidentes parte 2	31
Tabla 2.3 Análisis dispositivos para invidentes parte 3	32
Tabla 4.1 Diferencias de proyectos con redes evolutivas en comparación con el Sistema Anticolisión para Invidentes parte 1.	53
Tabla 4.2 Diferencias de proyectos con redes evolutivas en comparación con el Sistema Anticolisión para Invidentes parte 2.	54
Tabla 5.1 Aspectos base y de innovación entre el sistema de reconocimiento de obstáculos y el sistema anticolisión para invidentes.....	56
Tabla 5.2 Conexión de los sensores a los pines del Arduino	66
Tabla 5.3 Número de especies.....	70
Tabla 5.4 Selección de un individuo de la población 1.	72
Tabla 5.5 Matriz topológica.....	73
Tabla 5.6 Matriz de parámetros.....	73
Tabla 5.7 MDR	73
Tabla 5.8 Padres seleccionados.....	77
Tabla 5.9 Hijos.....	78
Tabla 5.10 Cromosomas de las redes neuronales óptimas de la parte estática.....	78
Tabla 5.11 Número de neuronas en las capas ocultas de la parte estática	78

Tabla 5.12 Cromosomas de las redes neuronales óptimas de la detección de objetos en movimiento.....	79
Tabla 5.13 Número de neuronas en las capas ocultas de la detección de objetos en movimiento.....	79
Tabla 5.14 Datos para calibración.....	81
Tabla 5.15 Datos para obtener el margen de error	82
Tabla 5.16 Información de audio para objetos en movimiento.	88
Tabla 5.17 Información de audio para objetos estáticos.	88
Tabla 6.1 Datos obtenidos en el escenario 1, habitación.	93
Tabla 6.2 Posición de los sensores en el chaleco.....	93
Tabla 6.3. Datos obtenidos en el escenario 2, sala.....	95
Tabla 6.4. Datos obtenidos en el escenario 3, sala con objetos en diferente posición	97
Tabla 6.5 Sexo y edad de los participantes.....	99
Tabla 6.6 Cuartiles del resultado de los invidentes	106
Tabla 6.7 Cuartiles del resultado de los participantes	106
Tabla 6.8 Resultados de la detección de una persona, balón y bicicleta.	113
Tabla 6.9 Cuartiles de los resultados de los invidentes con objeto en movimiento 1.	120
Tabla 6.10 Cuartiles de los resultados de los participantes con objeto en movimiento 1.	120
Tabla 6.11 Cuartiles de los resultados de los invidentes con objeto en movimiento 2.	128
Tabla 6.12 Cuartiles de los resultados de los participantes con objeto en movimiento 2.	128

Lista de Gráficos

	Pág.
Gráfico 5.1 Comparación distancia real con distancia tomada por el sensor.	83
Gráfico 5.2 Porcentaje de error de cada distancia tomada.....	83
Gráfico 5.3 Ángulo de incidencia de los sensores.	84
Gráfico 5.4 Distancia vs tiempo de los tres sensores.	85
Gráfico 5.5 Cromosomas elegidos y rechazados.	87
Gráfico 6.1 Comparación de las medidas dadas por el sensor con RNAE y las medidas reales, para el escenario 1	93
Gráfico 6.2 Comparación de las medidas dadas por el sensor con la RNAE y las medidas reales, para el escenario 2	96
Gráfico 6.3 Comparación de las medidas dadas por el sensor con RNAE y las medidas reales, para el escenario 3	98
Gráfico 6.4 Datos de los sensores del recorrido del invidente N°1	100
Gráfico 6.5 Datos de los sensores del recorrido del invidente N°2.....	100
Gráfico 6.6 Datos de los sensores del recorrido del invidente N°3.....	101
Gráfico 6.7 Datos de los sensores del recorrido del invidente N°4.....	101
Gráfico 6.8 Datos de los sensores del recorrido del invidente N°5.....	102
Gráfico 6.9 Datos de los sensores del recorrido del participante N°6.....	103
Gráfico 6.10 Datos de los sensores del recorrido del participante N°7.....	103
Gráfico 6.11 Datos de los sensores del recorrido del participante N°8.....	104

Gráfico 6.12 Datos de los sensores del recorrido del participante N°9	104
Gráfico 6.13 Datos de los sensores del recorrido del participante N°10	105
Gráfico 6.14 Cuartil 1	106
Gráfico 6.15 Cuartil 2	107
Gráfico 6.16 Cuartil 3	107
Gráfico 6.17 Datos estadísticos de la encuesta.	110
Gráfico 6.18 Detección de los objetos por la red neuronal en el proceso de obtención de datos.....	114
Gráfico 6.19 Datos de los sensores del participante N°1.	115
Gráfico 6.20 Datos de los sensores del participante N°2.	116
Gráfico 6.21 Datos de los sensores del participante N°3.	116
Gráfico 6.22 Datos de los sensores del participante N°4.	117
Gráfico 6.23 Datos de los sensores del participante N°5.	117
Gráfico 6.24 Datos de los sensores del participante N°6.	118
Gráfico 6.25 Datos de los sensores del participante N°7.	118
Gráfico 6.26 Datos de los sensores del participante N°8.	119
Gráfico 6.27 Datos de los sensores del participante N°9.	119
Gráfico 6.28 Datos de los sensores del participante N°10.	120
Gráfico 6.29 Cuartil 1 con objeto en movimiento con sensores frontales.....	121
Gráfico 6.30 Cuartil 2 con objeto en movimiento con sensores frontales.....	121
Gráfico 6.31 Cuartil 3 con objeto en movimiento con sensores frontales.....	122
Gráfico 6.32 Datos de los sensores posteriores del participante N°1.....	123
Gráfico 6.33 Datos de los sensores posteriores del participante N°2.....	124
Gráfico 6.34 Datos de los sensores posteriores del participante N°3.....	124
Gráfico 6.35 Datos de los sensores posteriores del participante N°4.....	125
Gráfico 6.36 Datos de los sensores posteriores del participante N°5.....	125
Gráfico 6.37 Datos de los sensores posteriores del participante N°6.....	126
Gráfico 6.38 Datos de los sensores posteriores del participante N°7.....	126

Gráfico 6.39 Datos de los sensores posteriores del participante N°8.....	127
Gráfico 6.40 Datos de los sensores posteriores del participante N°9.....	127
Gráfico 6.41 Datos de los sensores posteriores del participante N°10.....	128
Gráfico 6.42 Cuartil 1 con objeto en movimiento con sensores posteriores	129
Gráfico 6.43 Cuartil 2 con objeto en movimiento con sensores posteriores.	129
Gráfico 6.44 Cuartil 3 con objeto en movimiento con sensores posteriores.	130

Capítulo 1.

Introducción

La ceguera es una discapacidad que se puede encontrar combinada con inhabilidad del oído y el habla, ya sea que esta se presente congénitamente o como resultado de un accidente, es una limitación para la vida de la persona que se presenta principalmente en su orientación en el medio que lo rodea, generando inconvenientes para desempeñarse en sus actividades cotidianas, problemas psicológicos de rechazo o baja autoestima que involucran no solamente a la persona invidente sino también a su familia.

1.1 Planteamiento del problema

La Organización Mundial de la Salud estima que hay 285 millones de personas con discapacidad visual en todo el mundo, de las cuales 39 millones son ciegas y 246 tienen baja visión [1]. Por otro lado en la actualidad las personas invidentes en nuestro país según el último censo realizado por el DANE en el año 2005 son 1.143.992 [2].

Los ciegos o personas con discapacidad visual tienen una considerable desventaja como la falta de información para superar obstáculos, además tienen poca información acerca de señales y su ubicación [3].

La obtención de un empleo para una persona con necesidades especiales no es un proceso simple. Son muchos los obstáculos y barreras que se deben superar en la búsqueda de empleo. Estas situaciones pueden tener un impacto en la autoestima, las relaciones sociales, en el desarrollo profesional del individuo, entre otros [4].

En algunas ciudades del país se encuentran dispositivos electrónicos que emiten señales sonoras como ayuda auditiva para el paso de personas invidentes o de baja visión por semáforos peatonales. Es de aclarar que esta señal sonora tiene dos tipos de sonido, una frecuencia para la calle donde el sonido es rápido y otro para la carrera donde la frecuencia es más lenta. Las señales sonoras se emiten a través de un altavoz ubicado en el mismo módulo del semáforo peatonal debajo de la luz verde. Este tipo de dispositivos ofrecen información de tiempos y ubicación, útil para el desplazamiento peatonal en formas de comunicación no visual como son, mensajes sonoros y superficies para reconocimiento táctil o vibrante [5].

En la actualidad, existen dispositivos de ayuda para este tipo de población, algunos de ellos utilizan la tecnología y la electrónica basándose en módulos para facilitar la vida de estas personas, contribuyendo con herramientas tradicionales como el bastón que es el más utilizado. Sin embargo, estos dispositivos generalmente son desarrollados fuera del país haciendo difícil adquirirlos para la población invidente. En Colombia se han desarrollado pocas investigaciones, los que existen en su mayoría son herramientas software de ayuda para comunicarse entre el computador o smartphone y el invidente.

Por lo anterior es pertinente desarrollar un sistema anticolidión para invidentes que cumpla con las características ideales para contribuir con su movilidad y ubicación de manera que sea seguro, efectivo y de fácil acceso, teniendo en cuenta, que para el desplazamiento del invidente se requieren detectar obstáculos estáticos y en movimiento que presentan peligros para estas personas, cuya detección a tiempo contribuye a evitar una posible colisión, igualmente se debe tener en cuenta que este sistema debe caracterizarse por ser portable, cómodo para la persona que lo utiliza, de tamaño menor que otros dispositivos y con sistema de recarga.

De acuerdo con lo anterior se genera la siguiente pregunta de investigación.

¿Cómo diseñar un sistema para la guía de invidentes que permita detectar colisiones con obstáculos en movimiento?

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo General

Construir un sistema guía para invidentes que permita predecir colisiones con obstáculos en movimiento.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Diseñar un sistema de detección de colisiones de objetos en movimiento.
- Implementar un sistema portable para guía de invidentes que permita detectar colisiones de obstáculos estáticos y en movimiento.
- Evaluar el funcionamiento del sistema para invidentes.

1.3 Organización de la tesis

En el capítulo 2 se describen los dispositivos de ayuda para invidentes existentes en la actualidad, se presentan varios tipos de tecnología como herramienta para la movilización del invidente. En el capítulo 3, se encuentran las técnicas de evasión de

colisiones, allí se describen diferentes técnicas usadas en varios campos. En el capítulo 4, se muestra un estudio en cuanto a la red neuronal evolutiva, que comprende la red neuronal recurrente, el algoritmo genético cooperativo coevolutivo y la creación de la red evolutiva, en este capítulo se encuentra también la aplicación de estas.

El capítulo 5 está compuesto por el diseño del sistema anticolidión, se describe la implementación del algoritmo genético coevolutivo cooperativo y la generación de la red neuronal evolutiva del sistema anticolidión, igualmente se encuentra el software de funcionamiento del sistema. En el capítulo 6, se realizan las pruebas de funcionamiento tanto de la parte estática como de la detección de objetos en movimiento. Finalmente, en el capítulo 7 están las conclusiones y recomendaciones.

Capítulo 2.

Dispositivos de ayuda para invidentes

Las personas con discapacidad visual, por lo general, utilizan bastones blancos para percibir el entorno y poder guiarse en ambientes interiores y exteriores, la información que proporcionan los bastones es limitada y no permite detectar fácilmente y con precisión los obstáculos. Existen varias propuestas tecnológicas para mejorar la movilidad de las personas con discapacidad que incluyen variedad de herramientas.

La tecnología RFID (Identificación por radiofrecuencia), se emplea para obtener la ubicación del usuario, por medio de un bastón blanco electrónico que detecta etiquetas RFID ubicadas previamente en el suelo en una topología de líneas conectadas [3], [6]. Las etiquetas son dispositivos simples compuestos por una antena y un circuito electrónico básico con una memoria para almacenar información sobre el objeto al que están unidos [7]. El proyecto Blavigator [3], combina varias tecnologías como RFID, GIS (Sistema de información geográfico), GPS (Sistema de posicionamiento global) y visión estéreo con el fin de poder adaptarse a ambientes interiores y exteriores.

La aplicación de RFID se ha implementado conjuntamente con herramientas como los códigos QR recolectados para navegación y reconocimiento a través de una cámara portátil [8], así mismo se apoya con sensores de ultrasonido y wifi para la designación de trayectorias de movimiento [9], este sistema se incorpora en un bolso tipo canguro.

El tipo de soluciones mencionadas presentan el inconveniente de adaptar un entorno instalando las etiquetas RFID o del cálculo de mapas y trazado de rutas para guiar al invidente a su destino, por lo que es una tarea ardua y sin fin el llenar de etiquetas todos los lugares y objetos que el invidente visite o encuentre.

También se encuentra otro tipo de dispositivo en [10], que ayuda en la ubicación a los invidentes en los ambientes internos, presentando un sistema que integra los datos de un GIS de un edificio con la información de puntos de referencia captados por una cámara, el sistema traza y valida una ruta desde la posición actual hasta un destino determinado.

Otras investigaciones han optado por incorporar sensores al bastón blanco [11], [12], se adicionan tres sensores de ultrasonido para detectar obstáculos al frente, derecha o izquierda con realimentación vibratoria y de sonido para informar sobre la presencia de obstáculos. Un trabajo similar se presenta en [13], el cual utiliza una aplicación desarrollada en *Android* para procesar la información de los sensores. Otro se enfoca en la detección de obstáculos y clasifica el nivel de peligro con un objeto que podría colisionar con el usuario y detectar lugares con desniveles [14].

En un proyecto diferente con la ayuda de un bastón se traza una ruta y detecta objetos mediante el uso de cálculos radiométricos, usa un visor óptico activo con un LED y un fotodiodo [15]. Por otro lado se hace uso de una cámara incorporada en el bastón para la detección de puertas en los corredores con el fin de encontrar una habitación específica [16], y finalmente se encuentra el uso de redes de sensores inalámbricos, wifi y agentes móviles para ubicar e informar a las personas con discapacidad visual sobre diversos riesgos potenciales [17].

Para la comodidad del invidente acostumbrado a palpar objetos con el bastón blanco, en [18] se propone un nuevo concepto de bastón que integra sensores infrarrojos y de ultrasonido. Cuando se detecta un obstáculo distante, el dispositivo informa al usuario imitando el impacto del bastón blanco con el objeto mediante una rueda mecánica, lo que le proporciona la sensación de manejar un bastón mucho más largo. De igual manera se desarrolló en [19] el uso de un bastón de corta dimensión con múltiples sensores, que mediante el uso de la información háptica alerta la presencia de

obstáculos, su arquitectura permite la detección de obstáculos sin la necesidad de barrer con el bastón de lado a lado.

De la misma manera se ha añadido al bastón común cámaras para la estimación de posición y detección de objetos mediante el análisis de imágenes asociadas [20], el cual sirve para ambientes interiores, además cabe destacar que el trabajo desarrollado en [21] es muy similar pero se diferencia en que usa procesamiento de imágenes con un método de estimación de postura de 6-DOF.

El método de análisis de imágenes asociadas para detectar objetos estáticos y en movimiento no solo se ha incorporado al bastón normal, este es el caso de [22] donde el dispositivo ayuda a que una persona con discapacidad visual camine a través de carreteras muy transitadas e identifique obstáculos sin problema. Este método también puede afianzarse con sensores de proximidad, sensores ultrasónicos y módulo GPS para aumentar su efectividad [23], todos estos elementos se ubican en un casco conectados a una computadora portátil, el uso de cámaras se puede complementar simplemente con sensores de ultrasonido, centrándose en detectar objetos al aire libre y elementos del tráfico tales como cruce de calles, semáforos, automóviles y ciclistas [24].

Existen otros prototipos que incluyen cámaras estéreo para localizar objetos, como en [25] que se examinan las imágenes a través de la extracción de características como color, intensidad y dirección, con esto se construye un mapa. Luego, el área de obstáculos se calcula a través de la segmentación de imágenes, y la información en 3D de los obstáculos se logra mediante el uso de visión estereoscópica. Además, se encuentra el método de detección de obstáculos basado en una cuadrícula, que cambia su forma de acuerdo con el movimiento del objeto en una secuencia de imágenes. El método propuesto detecta el objeto en riesgo de colisión, utilizando el grado de deformación [26]. Otro método usa el algoritmo de Lucas – Kanade que emplea el flujo óptico para identificar movimientos, actualmente este sistema se ha completado con una aplicación para Smartphone para su ejecución [27], [28].

De igual manera se utilizan los mismos componentes de funcionamiento anteriores, pero empleando distintos algoritmos como el Block Matching (BM), consistente en la

eliminación de redundancia temporal entre dos o más fotogramas sucesivos para estimar el movimiento [29].

Para facilitarle al invidente encontrar un objeto en específico dentro de una escena, se hace reconocimiento por medio de un algoritmo aplicado a una matriz, cuyos factores se evalúan independientemente con el fin de informar cada paso de proximidad con el objeto hasta ubicarlo, los datos son dados por una cámara [30].

También se usan cámaras de diferentes tipos como las del Kinect, que se complementan con el uso de sensores y una computadora portátil como unidad de procesamiento, haciendo uso del software Matlab [31]. Estas cámaras se usan como sensor 3D, para crear una nube de puntos 3D, dando como resultado información del obstáculo plasmada con colores, se consideran obstáculos como paredes, puertas y escaleras [32].

Para informar al invidente sobre trayectorias u obstáculos presentes se utilizan varios canales de comunicación, como audio cuyos datos son proporcionados por un módulo mp3 [33] o por un módulo bluetooth [20], así mismo se emplea la combinación de sonido y vibración [13]. O se informa por medio de un pitido y una indicación de voz [34].

Con el fin de que los dispositivos sean portables se incorporan en accesorios que consta de dos sistemas: el primer sistema de sensores está provisto de un brazalete y dos bandas elásticas, se ubican en la muñeca y en la cabeza respectivamente, cada una contiene un sensor infrarrojo protegido por una carcasa de acrílico. El segundo sistema de procesamiento y aviso, mide y detecta obstáculos a nivel del suelo [35]. Un dispositivo similar emplea una pulsera con sensores de ultrasonido detectando obstáculos en el rango de 20 a 600 centímetros [36].

De manera semejante existe un dispositivo que cuenta con un sistema ajustable para cambiar el rango de distancia de detección, según las necesidades del usuario. El sistema se encuentra en una caja que se cuelga al cuello, fue probado en un ambiente interno y externo resultando ser eficaz en la navegación [37].

Otros proyectos emplean un cinturón, el primero utiliza tres sensores ultrasónicos que evitan obstáculos centrándose en el uso de la técnica de sonar [38], y el segundo, desarrolla un diseño innovador con sensores infrarrojos en combinación con ultrasonido [39].

Igualmente se encuentra el sistema de navegación electrónico para ciegos que detecta obstáculos usando una red de sensores, calcula la distancia del objeto respecto al sujeto y prepara la navegación para evadir obstáculos, utilizando audio de retroalimentación para el invidente. Este sistema tiene dos sensores incorporados en gafas y tres en un cinturón [40], así mismo se incorpora la implementación del dispositivo en anteojos donde se encuentran dos cámaras en miniatura y un búfer FIFO para sincronizar y combinar las imágenes, el video capturado por este sistema se puede transmitir a un dispositivo móvil a través de la red 3G [41]. Otro prototipo complementa la aplicación en 3G con tecnologías modernas como GPS, wifi con mapas de Google, con el fin de informar a las personas con discapacidad visual a través de mensajes de sonido grabados sobre puntos de interés cercanos [42].

En [43] se realizó un sistema que se compone de un módulo transmisor y un módulo receptor. El diseño del sistema proporciona una opción para seleccionar un tipo de comunicación específica adecuada a las necesidades del usuario, sus componentes se ubican en los zapatos del usuario. En otro proyecto se desarrolló la incorporación de un sensor de reconocimiento de color RGB en calzado para detección de obstáculos [44].

Otro tipo de accesorio utilizado es la mochila que contiene módulos ZigBee C que captan puntos de referencia para estimar la posición del usuario, se completa con sensores ultrasónicos para escanear escenas complejas. Además, implementa una técnica de localización eficiente con construcción de mapas [45], Igualmente en [46] se usa un maletín combinado con un chaleco vibratorio y una gorra que contiene una cámara .

Para la detección de obstáculos a nivel de la cabeza se usan dispositivos en cascos como en [47], que usa una cámara Kinect, una computadora de baja potencia llamada *BeagleBone*, cuya salida se envía al usuario a través de pulsos mecánicos, y en [48] se usa sensores ultrasónicos de bajo costo, que detectan objetos en la parte superior del cuerpo con alcance de 30 cm.

Existe además un prototipo de ropa [49], que permite la detección de obstáculos para las personas con discapacidad visual, se lleva fácilmente como una prenda flexible y cómoda para el cuerpo humano con sus piezas desmontables.

Del mismo modo se han desarrollado dispositivos en prendas de vestir como en [50], que usa un conjunto de sensores en forma semiesférica en un chaleco, así detecta los obstáculos y se determina la dirección a seguir para poder evitarlos. Así mismo implementan una chaqueta con sensores, el cual notifica al usuario sobre el obstáculo a través de comandos de voz específicos que se almacenan en una tarjeta Micro SD, estas instrucciones son interpretadas por el microcontrolador y se escuchan por el usuario a través de los auriculares [51]. En la chaqueta se incluye hardware para la detección de obstáculos y se usa bandas elásticas a nivel de la cabeza, el pecho y rodillas [52].

Dentro de los dispositivos de ayuda para invidentes se usan mecanismos de desplazamiento como una silla de ruedas inteligente [53], especializada en informar al usuario sobre la presencia de aceras, carreteras e intersección vial. Un caminador para ancianos con el mismo fin se puede observar en [54], que se usa en exteriores e interiores. Igualmente en esta categoría se tiene un caminador con agarre para operar un robot guía que tiene sensores para evitar obstáculos y peligros [55]. De acuerdo con [56] se usa un Segway o caminador personal con ruedas, que incorpora una cámara Kinect para la detección de obstáculos, una computadora portátil como procesador, GPS y Google Maps para la ubicación del usuario.

El uso de tecnología electromagnética se observa en [57], [58] y [59], que mediante el uso de pulsos electromagnéticos (EM) cortos se detectan obstáculos y da información sobre la altura, posición y distancia de los mismos al invidente. Por su parte en [60] se hace uso de un sensor magnético para ayudar a las personas con discapacidad visual a evitar obstáculos de hierro.

Otro tipo de ayuda para los ciegos es un sistema que mediante una cámara detecta y lee caracteres de LED / LCD en tiempo real, leyéndolos en voz alta al usuario con voz sintetizada, facilitando el uso de temporizadores de microondas y relojes digitales. El sistema se ha implementado tanto para computadores como teléfonos celulares [61].

En la actualidad, se está haciendo gran uso de los Smartphone, por ello se han incorporado canales sensoriales táctiles y de audio para que los invidentes los utilicen [62]; del mismo modo se emplean aplicaciones de orientación que incluyen una guía de mapas [63], estos teléfonos complementan su efectividad con sensores de ultrasonido [64]. Otra investigación se centra en ayudar a las personas con discapacidad visual a usar las funciones del teléfono inteligente, mediante el ingreso a menús con movimientos tridimensionales [65].

Los sistemas mencionados hacen uso de variedad de herramientas y técnicas incorporadas en el bastón o en accesorios, muchos de ellos presentan limitaciones como el no detectar obstáculos en movimiento y evadir colisiones, así mismo dependiendo de la ubicación de los accesorios en el cuerpo se detectan obstáculos en direcciones limitadas, por otra parte los dispositivos que presentan dos tipos de accesorios requieren trabajar en conjunto para su correcto funcionamiento presentando inconvenientes cuando falle uno de ellos.

La mayoría de los dispositivos descritos anteriormente tienen como principio de funcionamiento el sensor de ultrasonido, que se puede desenvolver en las situaciones que se encuentre el invidente en su vida cotidiana, presentando eficacia en todo tipo de ambiente.

A continuación, se muestran las tablas con el resumen de análisis de los dispositivos para invidentes anteriormente mencionados.

Análisis dispositivos para invidentes			
Tecnología	Referencias	Descripción	Contribución
RFID	[3], [6], [7], [8], [9] y [10]	Tecnología que usa etiquetas para detectar y dar información de objetos. Que pueden utilizar herramientas como GIS, GPS y códigos QR con cámara portátil. Todos funcionan con espacios delimitados.	El RFID no se utiliza en el sistema anticolidión para invidentes, porque se busca detectar los objetos que el invidente pueda encontrar en un camino desconocido. Las tecnologías GIS, GPS y QR con cámara portátil consumen gran cantidad de energía generando desventaja en largos trayectos de funcionamiento.
Bastones con dispositivos.	[11], [12], [13], [14], [15], [16], [17], [18], [19], [20] y [21]	Tecnología que usa cámaras, Smartphone, sensores infrarrojos y ultrasónicos.	El uso de los sensores ultrasónicos obtiene buenos resultados, los cuales se aplican al sistema anticolidión para invidentes por su bajo consumo de energía y su buena respuesta al detectar obstáculos. Los sensores infrarrojos tienen la desventaja de no detectar objetos huecos, por ejemplo, mallas. Y las cámaras con smartphone merman el tiempo de uso del dispositivo por lo que no se usan en el dispositivo.
Dispositivos con cámara.	[22], [23], [24], [25], [26]. [27], [28], [29], [30], [31] y [32].	Emplean como herramienta principal la cámara que puede ser tipo estéreo o Kinect y puede venir acompañada con GPS, smartphone, y sensores de ultrasonido	Las cámaras por su peso y tamaño hacen que no sea ergonómico dificultando la movilidad del invidente. Y en conjunto con el GPS emplea gran consumo de recursos, empleando una gran cantidad de imágenes para la detección de objetos. No se aplica al dispositivo. Los sensores de ultrasonido no saturan de información los recursos software y hardware como otros dispositivos.

Tabla 2.1 Análisis dispositivos para invidentes parte 1

Fuente: Elaboración propia

Análisis dispositivos para invidentes			
Tecnología	Referencias	Descripción	Contribución
Tipos de alerta para el invidente.	[13], [20], [33] y [34]	Los tipos de alerta que emplean son: Vibratoria, pitidos y voz.	La respuesta vibratoria es útil cuando el número de actuadores son pocos, en el sistema anticolidión para invidentes se probó esta alternativa descartándola por su alto consumo de potencia, debido a la cantidad de actuadores reduciendo drásticamente las horas de funcionamiento, por lo que se retiraron del dispositivo. El uso del módulo de voz fue eficiente en la solución del consumo de potencia.
Tecnologías incorporadas en accesorios	[35], [36], [37], [38], [39], [40], [41], [42], [43], [44], [45], [46], [47], [48], [49], [50], [51] y [52].	Se incorporan en su mayoría sensores de ultrasonido, aunque también están los infrarrojos, cámaras miniatura, tecnología 3G, GPS y wifi en brazaletes, bandas elásticas, pulsera, caja, cinturón, gafas, zapatos, bolsos, chaleco, gorra, suéter y chaqueta.	El chaleco es el accesorio que presenta mayor comodidad para el invidente por su fácil incorporación de los sensores. No se incorporó la tecnología 3G porque no tiene total cobertura, de igual manera no se usó el GPS y wifi debido al consumo en potencia es bastante elevado.
Dispositivos de desplazamiento	[53], [54], [55] y [56].	Entre estos dispositivos se encuentran la silla de ruedas inteligente, un caminador con sensores, caminador con robot y un Segway. Incorpora herramientas como GPS, Google Map, cámara Kinect y computador portátil.	Estos dispositivos presentan altos costos para adquirirlos, al mismo tiempo tiene incomodidad en el desplazamiento por el peso de las herramientas que contiene. Otra desventaja es la restricción de desplazamiento del Segway. Por lo anterior no se utilizan en el proyecto.
Electromagnéticos	[57], [58], [59] y [60].	Emplean pulsos electromagnéticos y sensores magnéticos.	No se utiliza porque detectan obstáculos a corta distancia y el sensor magnético solo detecta objetos de hierro.

Tabla 2.2 Análisis dispositivos para invidentes parte 2

Fuente: Elaboración propia

Análisis dispositivos para invidentes			
Tecnología	Referencias	Descripción	Contribución
Cámara lectora de caracteres	[61]	Usa un computador o smartphone	Detecta caracteres de tipo luminoso como LED o LCD y avisa al invidente por medio de audio de voz, no se utiliza porque este proyecto se limita a solo leer caracteres.
Smartphones	[62], [63], [64] y [65]	Emplean sensores de ultrasonido, canales sensoriales táctiles, guía de mapas, ingreso a menús con movimientos tridimensionales.	Estos proyectos se enfocan en ayudar al invidente a utilizar las herramientas del smartphone, en cuanto a la guía de mapa tiene limitaciones porque se requiere conexión a internet. Y la desventaja es el consumo eléctrico con otros dispositivos. Por lo que se descarta la aplicación del smartphone en el sistema anticolidión para invidentes.

Tabla 2.3 Análisis dispositivos para invidentes parte 3

Fuente: Elaboración propia

Capítulo 3.

Técnicas de evasión de colisiones

El tema de evasión de colisiones ha sido tratado en diversos campos, por ejemplo, en el tráfico aéreo, marítimo, terrestre y en sistemas de ayuda a invidentes, a continuación, se relacionan algunos trabajos que podrían permitir ampliar su uso para detectar obstáculos en movimiento.

El método de razonamiento basado en casos emplea dos tipos de agentes:

Agente de función y agente de control.

Los primeros gestionan a los segundos, formando la respectiva arquitectura y así evitar la colisión.

Por otro lado para evitar colisiones a nivel del mar se desarrolló una estrategia con base en un algoritmo que proporciona señales de peligro y determina las zonas peligrosas por medio de la simulación de situaciones y evaluación de riesgos de colisión de dos naves [66].

Si el primer barco adopta la posición de prevención de colisión, se inicia el programa de estrategias de prevención [67], [68].

En este campo de la misma forma se emplean un modelo probabilístico de riesgo anticolisión, formado con datos obtenidos mediante encuestas a los pilotos del puerto de Singapur quienes proporcionaron información de las condiciones donde existe más riesgo y los tipos de embarcaciones que están más expuestas, con lo anterior se analizan márgenes de seguridad con distancia y tiempo [69].

En el tema de tráfico vehicular [70], se consideran dos vehículos en movimiento en la misma dirección. El vehículo que se encuentra al frente es detectado por la combinación de un LIDAR (Detección y medición de la luz) y por una cámara, suministrando datos al sistema como velocidad relativa y distancia.

Por otra parte, en [71] se diseñó y evaluó una aplicación para la reducción del número de accidentes en cadena, realizando análisis y optimización de estrategias de prevención de colisiones de forma cooperativa (PCC).

También en esta área se tiene a [72], donde se plantea mediante simulación con el software PreScan la construcción de una escena de evasión de colisiones, en esta se desarrolla una estrategia de prevención de colisiones en intersecciones no señalizadas.

El método consiste en utilizar la estrategia en dos vehículos que se encuentren en una carretera principal y en una secundaria respectivamente, la colisión se evita mediante la comunicación de mensajes de advertencia.

De igual manera se ha desarrollado una técnica para la detección de colisiones entre grúas hidráulicas, se informa las posiciones de la grúa y de las que se encuentran alrededor, lo que permite detener las grúas a tiempo para evitar colisiones mediante el cálculo de frenado, considerando además el tiempo en que queda completamente detenida [73].

En [74] se encuentra un software para la resolución de colisiones en vehículos aéreos no tripulados (VANT), detectando colisiones potenciales. El espacio cartesiano se divide en celdas cúbicas.

Una trayectoria se puede describir como una secuencia de celdas a las que se les asocia un tiempo de entrada y un tiempo de salida, las celdas se realizan con el fin de ubicar los VANT en el espacio y facilitar la detección de colisiones.

Dentro de los VANT se encuentran los cuadricópteros [75]. Este sistema se divide en dos módulos principales: uno para la detección de obstáculos y otro para la prevención de colisiones. Los módulos se implementan independientemente el uno del otro.

Los datos ultrasónicos se filtran y fusionan por completo con los datos de la unidad de medición inercial (UMI). El módulo de prevención de colisiones usa los resultados del módulo la detección de obstáculos y permite un vuelo controlado.

Los datos remotos se transmiten a través de una computadora o radio control (RC), enviando comandos de dirección o activando y desactivando el sistema.

De la misma manera existen sistemas anticolidión para ciegos como el [76], que usa una tarjeta OMAP-3, con el uso de flujo óptico obtiene por medio de grabación de videos el riesgo de colisión en función de las estimaciones de movimiento.

Otra investigación se enfoca en optimizar la técnica anticolidión basada en imágenes, donde se proyecta el cambio de tamaño de los objetos marcando puntos característicos en ellos y teniendo en cuenta sus correspondientes vectores de movimiento.

En ocasiones estos cambios se miden de manera incorrecta, para superar este problema, se hace un esquema de agrupamiento de movimiento eliminando valores fuera de lo normal entre puntos característicos y sus vectores de movimiento [77].

Igualmente se ha desarrollado dispositivos cuyo enfoque permite a las personas ciegas y con baja visión, practicar actividades de trote por medio de la percepción del entorno 3D para la detección del curso y la prevención de colisiones, el sistema tiene dos funciones:

Identificar las líneas blancas de una pista de atletismo y el reconocimiento de posibles objetos para realizar estrategias de evasión de colisiones mediante ordenes de disminución de velocidad o detención [78].

Capítulo 4.

Red neuronal evolutiva y uso de redes neuronales

Las Redes Neuronales Artificiales (RNA) imitan la estructura del sistema nervioso, con la intención de construir sistemas de procesamiento de información paralelos, distribuidos y adaptativos, que puedan presentar un cierto comportamiento “inteligente” [79], las redes neuronales evolutivas reciben este nombre al ser entrenadas con un Algoritmo Genético (AG) simple o cualquier tipo de algoritmo genético como el algoritmo genético cooperativo coevolutivo (AGCC) .

4.1 Red neuronal recurrente

Un perceptrón multicapa (PMC) sólo puede mapear vectores de entradas a vectores de salida, mientras que una red neuronal recurrente puede en principio mapear la historia de entradas previas a cada salida.

De hecho, el resultado equivalente de la teoría de aproximación universal para perceptrones multicapa es que una RNR (Red neuronal recurrente) con un número

suficiente de unidades ocultas puede aproximar cualquier correlación de secuencias medibles de precisión arbitraria.

El punto clave son las conexiones recurrentes permiten que una “memoria” de entradas previas persista en el estado interno de la red, que luego puede usarse para incubar la salida de red [80].

4.1.1 Modelo general de la red neuronal recurrente

El modelo de una red neuronal recurrente se compone de los siguientes elementos:

- Un conjunto de entradas $X_j(t)$, donde t representa el estado actual de la RNR.
- Unos pesos sinápticos W_{ij} asociados a las entradas, que representan la intensidad de interacción entre cada neurona presináptica j y la neurona postsináptica i .
- Una regla de propagación dada por,

$$n_i(t) = \sigma(W_{ij}, X_j(t)) \quad (4.1)$$

La regla de propagación más común suele ser,

$$n_i(t) = \sum W_{ij}, X_j \quad (4.2)$$

La ecuación (4.2), proporciona el valor del potencial postsináptico de la neurona i en función de sus pesos y entradas.

- Una función de activación

$$Y_j(t) = f_i(n_j(t)) \quad (4.3)$$

que representa simultáneamente la salida de la neurona y su estado de activación [81].

4.1.1.1 Paso hacia adelante de la RNR

El paso hacia adelante de una RNR es el mismo que el de un PMC, excepto que las activaciones llegan a la capa oculta tanto de la entrada externa actual como de las

activaciones de la capa oculta en un paso atrás en el tiempo [82]. Considerando una secuencia de entrada de longitud T presentada a una RNR con I unidades de entrada, H unidades ocultas, y K unidades de salida. Sea x_i^t el valor de la entrada i en el instante t , y sea a_j^t y b_j^t respectivamente la entrada de red a la unidad j en el instante t y la activación de la unidad j en el instante t .

Para las unidades ocultas se tiene.

$$a_h^t = \sum_{i=1}^I w_{ih} x_i^t + \sum_{h'=1}^H w_{h'h} b_{h'}^{t-1} \quad (4.4)$$

Las funciones de activación no lineales θ diferenciables se aplican entonces exactamente como para las PMC.

$$b_h^t = \theta_h(a_h^t) \quad (4.5)$$

La secuencia completa de activaciones ocultas se puede calcular comenzando en $t = 1$ y aplicando recursivamente (4.4) y (4.5), incrementando t en cada paso. Obsérvese que esto requiere que los valores iniciales b_i^0 sean elegidos para las unidades ocultas, correspondientes al estado de la red antes de recibir cualquier información de la secuencia de datos. En este trabajo, b_i^0 siempre se pone a cero.

Las entradas de red a las unidades de salida se pueden calcular al mismo tiempo que las activaciones ocultas:

$$a_k^t = \sum_{h=1}^H w_{hk} b_h^t \quad (4.6)$$

Una RNR simple que contiene una única capa oculta conectada automáticamente, se muestra en la Figura 4.1.

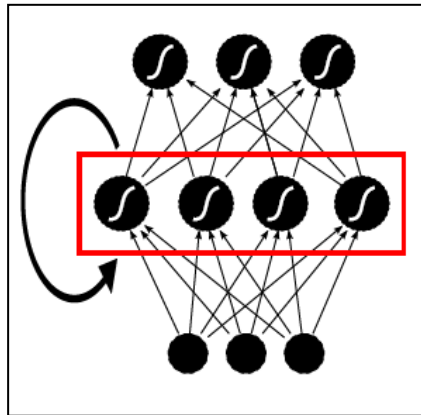


Figura 4.1 Red neuronal recurrente [84].

Las funciones de activación que se emplean y se describen comúnmente, se muestran en la Figura 4.2.

	Función	Rango	Gráfica
Identidad	$y = x$	$[-\infty, \infty]$	
Escalón	$y = \begin{cases} 1, & \text{si } x \geq 0 \\ 0, & \text{si } x < 0 \end{cases}$ $y = \begin{cases} 1, & \text{si } x \geq 0 \\ -1, & \text{si } x < 0 \end{cases}$	$[0, 1]$ $[-1, 1]$	
Lineal a tramos	$y = \begin{cases} 1, & \text{si } x > 1 \\ x, & \text{si } -1 \leq x \leq 1 \\ -1, & \text{si } x < -1 \end{cases}$	$[-1, 1]$	
Sigmoidea	$y = \frac{1}{1 + e^{-x}}$ $y = \tanh(x)$	$[0, 1]$ $[-1, 1]$	
Gaussiana	$y = Ae^{-Bx^2}$	$[0, 1]$	
Sinusoidal	$y = A \sin(wx + \varphi)$	$[-1, 1]$	

Figura 4.2 Funciones de activación [83]

4.1.2 Uso de redes neuronales recurrentes (RNR)

En proyectos como [83] se propone la combinación de enfoques de procesamiento y reconocimiento de escritura, su objetivo es desarrollar una herramienta que ayude a las personas con problemas de baja visión a comprender textos de escritura a mano, haciendo uso de un módulo de clasificación compuesto por redes neuronales recurrentes multidimensionales (RNRM) y usando LSTM (larga memoria a corto plazo).

La capa de salida usa CTC (clasificación temporal conexionista), que clasifica imágenes y reconoce cada letra aproximando a una secuencia de las mismas a una palabra completa y válida.

Las RNR con LSTM también se emplean para obtener reconocimiento facial detectando puntos faciales, una primera RNR obtiene en principio una imagen con componentes faciales en baja resolución, luego la red posterior toma estos componentes como entradas en base a la salida de la primera red, obteniendo puntos de referencia más precisos con una resolución más alta. Este método presenta mejores resultados que los convencionales tanto en videos como en imágenes [84].

Una aplicación diferente de las RNR se presenta en [85], donde se indica una novedosa arquitectura de aprendizaje profundo.

Comprende tanto redes neuronales recurrentes LSTM como redes neuronales convolucionales para la detección de contenido adulto en videos de internet, disminuyendo a la mitad el número de falsos positivos y un tercio del número de falsos negativos.

De manera similar en [86] se consideran redes neuronales recurrentes entrenadas con gradiente descendente, que calcula la inversa de Drazin en una matriz rectangular, teniendo estabilidad y buena convergencia.

4.2 Algoritmo genético

Los AG fueron propuestos por John H. Holland [87]. En [88] se describe que un algoritmo genético es una búsqueda heurística inspirada por la teoría de la evolución. Dada una población de individuos que son soluciones potenciales a un problema a optimizar, cada uno es codificado utilizando una estructura de datos tipo cromosoma (cadena de caracteres).

Los AGs trabajan aplicando operadores inspirados por el proceso de evolución natural, estos individuos pasan por operadores de selección, cruce y mutación hasta que un criterio de terminación este satisfecho. El propósito de usar un AG es encontrar un individuo en el espacio de búsqueda (población) con el mejor "material genético". La calidad de un individuo se mide con una función objetivo, también llamada función de *fitness*.

4.2.1 Algoritmo genético cooperativo coevolutivo (AGCC)

La coevolución cooperativa es un proceso en el cual dos especies interactúan entre sí de tal forma que ambas resultan beneficiadas en la interacción. En el caso de los algoritmos evolutivos, se aplica este concepto para la asignación de aptitud de los individuos, considerándose como el resultado de una colaboración entre los individuos de las especies.

El primer modelo de coevolución cooperativa fue propuesto por Mitchell A. Potter y Kenneth A. De Jong [89] y se basa en modelar un ecosistema que consiste en dos o más especies, las cuales tienen una relación ecológica de mutualismo.

AGCC descompone un problema en un número fijo de subcomponentes, cada uno representado por una subpoblación diferente. Por ejemplo, si la solución a un problema de optimización consiste en los valores de x parámetros (variables), entonces una descomposición natural es mantener x subpoblaciones, cada una de las cuales contiene valores de competencia para un parámetro particular. Así, AGCC divide un

problema en subproblemas pequeños y los resuelve con el fin de solucionar el problema original.

La evolución de cada subpoblación es manejada por la forma estándar del AG. Una solución completa al problema original se obtiene mediante la selección de miembros representativos de cada subpoblación.

Estos miembros son calificados con base en la aptitud que tengan. Así, la aptitud de una especie se calcula estimando cuán bien "coopera" con otras especies para producir buenas soluciones [88].

Un individuo se considera apto entre más ayude a los demás a buscar mejores soluciones al problema. Por lo general, la mayoría de las propuestas que utilizan un esquema basado en coevolución cooperativa tienden a utilizar una especie por cada variable de decisión que contenga el problema [90].

El AGCC de la Figura 4.3, comienza con una generación igual a cero, el número de especies es dado de forma aleatoria por el mismo programa, iniciando la población en el que un individuo representa un cromosoma.

La evaluación empieza con la comparación de cada miembro de la subpoblación con un individuo escogido aleatoriamente de la misma, una vez evaluados se aplican los operadores de selección según su aptitud, cruce y mutación. Posteriormente, cada subpoblación coopera para obtener la solución [88].

```
Algorithm 1 CCGA  
1:  $gen = 0$   
2: for each species  $s$  do  
3:    $P_s(gen) =$  randomly initialized population  
4:   evaluate each individual in  $P_s(gen)$   
5: end for  
6: while termination criterion = false do  
7:    $gen = gen + 1$   
8:   for each species  $s$  do  
9:     select  $P'_s(gen)$  from  $P_s(gen - 1)$  based on fitness  
10:    apply crossover and mutation operators to  $P'_s(gen)$   
11:    evaluate each individual in  $P'_s(gen)$   
12:    select  $P_s(gen)$  from  $P'_s(gen)$  and  $P_s(gen - 1)$   
13:  end for  
14: end while
```

Figura 4.3 Algoritmo genético cooperativo coevolutivo [88].

4.3 Red neuronal evolutiva

Los algoritmos genéticos (AGs) son la técnica que se ha aplicado con éxito en la búsqueda de obtener redes neuronales artificiales óptimas [91], [92], [93]. Las redes neuronales pueden evolucionar proporcionando la información que contienen al algoritmo genético coevolutivo, esto se emplea en [94].

Una visión común del proceso evolutivo es que la diversidad mejora el rendimiento de una población proporcionando más oportunidades para evolucionar.

Una población homogénea no ofrece ninguna ventaja que permita progresar, debido a que la población entera está centrada en una porción específica del espacio de búsqueda. Por el contrario, una población diversa explorará simultáneamente una zona grande del espacio de búsqueda, proporcionando la oportunidad de situarse en soluciones diferentes, potencialmente mejores [95].

Las redes neuronales artificiales evolutivas (RNAEs) han sido un área de investigación clave en la última década del siglo XX y la primera del siglo XXI [96], proporcionando una plataforma mejorada para optimizar simultáneamente el rendimiento y la arquitectura de la red (número de nodos en la capa oculta y número de conexiones).

Geoffrey F. Miller, Peter M. Todd y Shailesh U. Hegde [97] propusieron que la computación evolutiva (CE) era una buena candidata para buscar en el espacio de arquitecturas, debido a que la función de aptitud asociada con dicho espacio presenta ruido, es compleja, no diferenciable, multimodal y deceptiva.

Desde entonces, muchos métodos de programación evolutiva (PE) han sido desarrollados para evolucionar redes neuronales, tales como [98], [99], [100]. En menor número de trabajos se emplean AGs [101].

En general, existen tres formas de abordar el entrenamiento de una RNA con un AE:

- 1) **Evolucionar los pesos de la RNA.** En este caso, se fija la arquitectura de la red y se desarrolla una búsqueda global en el espacio de pesos. Los pesos son tradicionalmente representados con codificación real. En comparación con los algoritmos de retropropagación (BP) Backpropagation clásicos, pueden ser más lentos, pero no requieren del cálculo del gradiente.
- 2) **Evolucionar la arquitectura de la RNA.** Se parte, en este caso, de una inicialización aleatoria de los pesos y, tras la ejecución del AE, se suelen realizar varias iteraciones de un algoritmo BP clásico. La representación más natural para esta tarea es la codificación binaria. De cualquier forma, la optimización de la arquitectura es un proceso difícil, dando únicamente resultados aceptables en problemas relativamente pequeños.
- 3) **Evolucionar simultáneamente tanto los pesos como la arquitectura de la RNA.** Esta estrategia pretende reunir las ventajas de las dos anteriores. El principal inconveniente radica en la dificultad asociada al entrenamiento de los modelos de red. Hoy en día, es una de las técnicas más interesantes de RNAEs [79].

La red neuronal evolutiva que se desarrolló en esta investigación fue elaborada y entrenada con el tercer método mencionado anteriormente.

De acuerdo con [102], el fin de construir un sistema anticolidión neuronal eficaz y confiable es la fase de aprendizaje, para aumentar la probabilidad de éxito final y tener la posibilidad de elegir entre muchas opciones diferentes.

El método AGCC tiene la capacidad de ajustar la arquitectura de las redes, el número de neuronas, el tipo de neuronas, la topología y el número de módulos, a un problema a resolver. Esta capacidad es muy importante porque al comienzo de la fase de aprendizaje se desconoce la naturaleza del problema (analizable o no en subproblemas) y su complejidad.

La red neuronal evolutiva se forma de la siguiente manera:

Un cromosoma está formado por la topología y los parámetros de la RNA, la topología se determina con base en la información contenida en la primera parte del cromosoma, los valores binarios de esta parte se copian de forma redireccionada en la MDR (matriz de definición de red), un solo bit corresponde a un único elemento en la matriz.

Cuando el número de bits es insuficiente para completar la matriz, la secuencia completa de bits, se utiliza de nuevo. Los parámetros de la segunda parte del cromosoma se introducen sucesivamente en la MDR. En este caso, solo se remplazan los elementos iguales a uno [102]. Ver Figura 4.4.

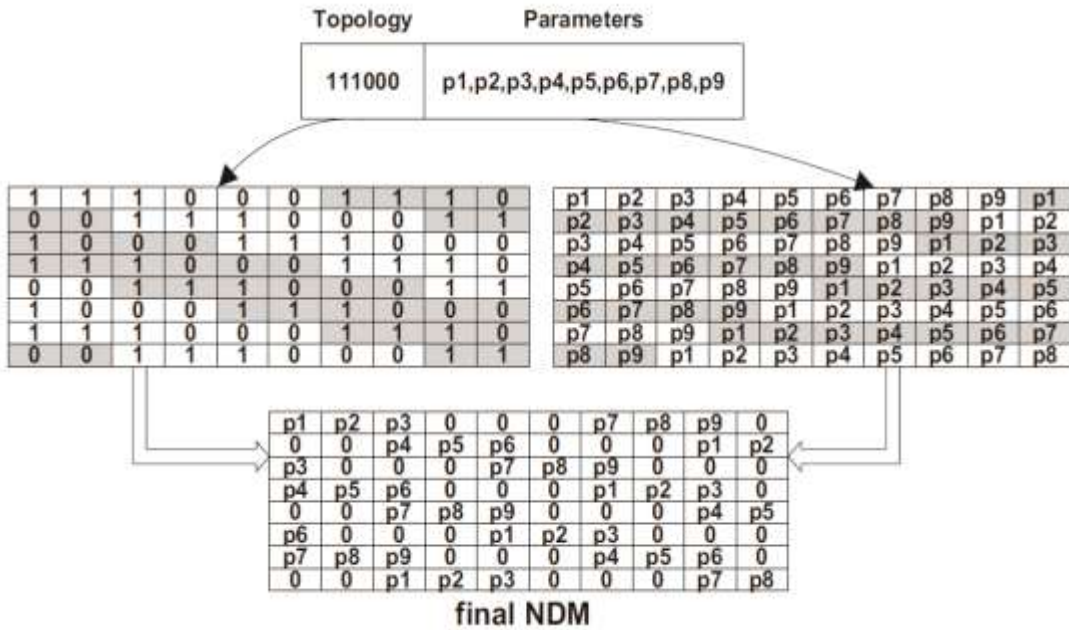


Figura 4.4 Forma de codificar sub RNAs dentro de los cromosomas [102].

El algoritmo genético genera operaciones y datos que en conjunto forman un programa. Cada programa construye una matriz de definición de red MDR la cual es transformada dentro de una RNA. Para este fin, la matriz tiene toda la información necesaria para construir una red.

El tamaño de la MDR determina un número máximo de neuronas en una RNA donde los elementos individuales de la matriz definen los pesos de las conexiones entre neuronas. Ver Figura 4.5.

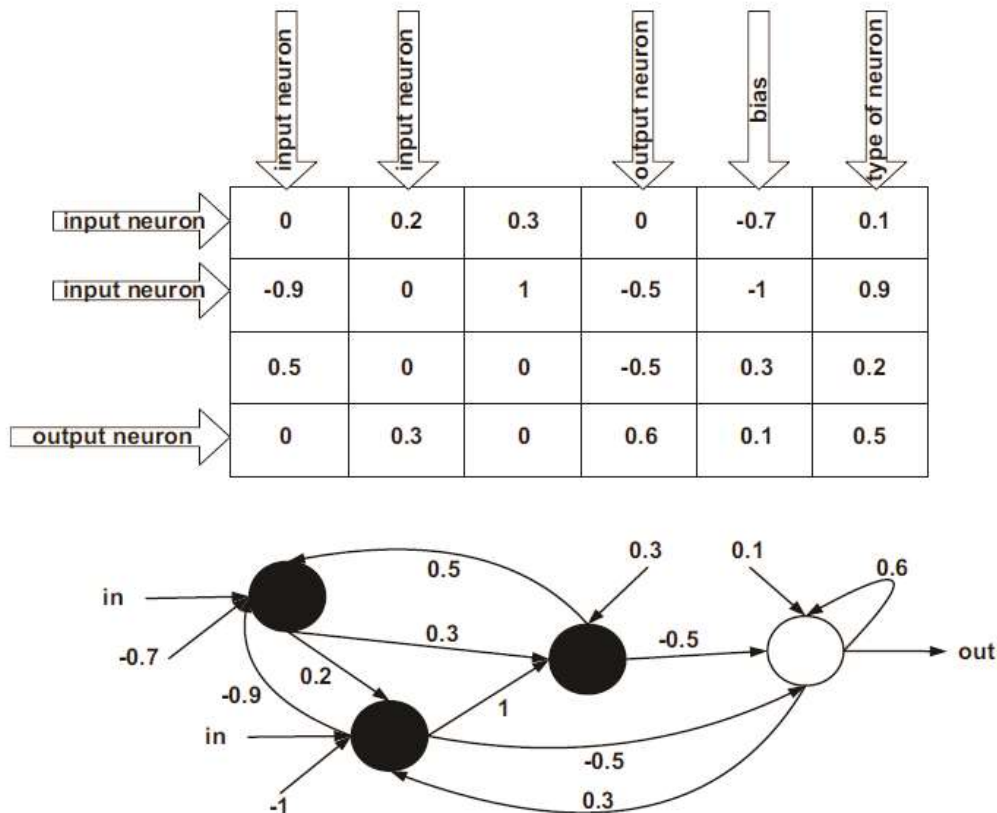


Figura 4.5 Codificación de una RNA en forma de matriz de definición de red [102].

La forma de evaluar en el AGCC depende del problema a solucionar, acabado el primer ciclo de programación, sigue el conteo de generaciones para luego seleccionar los individuos según el criterio de evaluación.

En la selección de individuos se aplican técnicas como la selección por ruleta, por torneo, elitismo etc. En el cruce existen técnicas como el cruce en un punto, dos puntos, uniforme, etc. Por lo general en la parte de mutación, un pequeño porcentaje de la población es mutada.

La cooperatividad y la coevolución se dan cuando un módulo de redes neuronales artificiales está conformado por un conjunto de subredes de RNAs sin conexión y un vector compuesto de registros de salida numerados. La tarea de la sub RNAs es producir colectivamente una salida. Cada registro corresponde a diferentes salidas y estas son actualizadas independientemente de los otros registros.

Una simple ejecución del conjunto de sub RNAs genera un valor para un registro. En consecuencia, para obtener una salida dada, las entradas de la red neuronal artificial, las sub RNAs, tienen que ejecutarse un número de veces. En cada ejecución, únicamente una subred es seleccionada para modificar un registro.

En el proceso de seleccionar una sub RNA activa, un proceso de negociación entre todas las subredes se lleva a cabo. Una sub RNA con la mayor fuerza de negociación tiene permiso para cambiar un valor de un registro seleccionado [102].

En la Figura 4.6 se indica el modus operandi de dos módulos de redes neuronales artificiales con tres subredes, en (a) se muestra la primera iteración y en (b) la segunda iteración. El máximo número de entradas en cada sub RNA es el mismo y corresponden al tamaño de la entrada del problema a resolver.

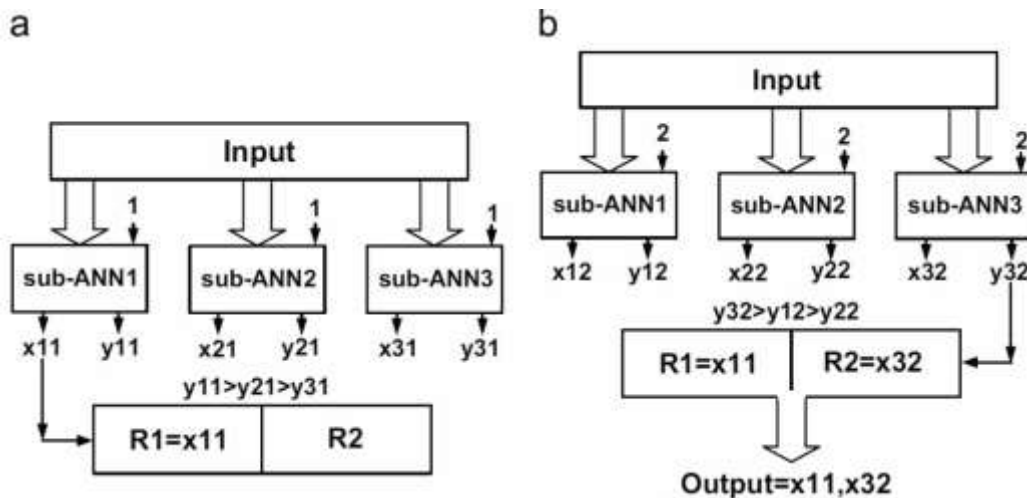


Figura 4.6 Modus operandi de dos módulos de redes neuronales artificiales con tres subredes [102].

En la Figura 4.6 la salida del registro R1 es establecido por la sub RNA 1, la fuerza de negociación de esta red es dada por Y_{11} (fuerza de negociación de la red número 1 para el registro 1) y es el más grande de este registro, por lo tanto, $R1=X_{11}$ (X_{11} -salida del módulo número 1 para el registro número 1).

Entonces, la salida del registro R2 ya puede ser modificado, sin embargo, la subred RNA 3 tiene la salida del valor $R2=X_{32}$ (salida del módulo número 3 para el registro número 2).

Cuando se calcula R1 las entradas extra de todos los módulos son igual a 1, mientras que en R2 todas las entradas extra son establecidas a 2.

El número exacto de entradas depende de las decisiones tomadas durante el proceso de evolución y, en consecuencia, este puede ser diferente para cada RNA.

Adicionalmente, las entradas corresponden a un problema. Cada sub RNA también incluye una entrada extra la cual indica el número de un registro para ser actualizada como se mencionó anteriormente, la salida completa de la RNA es producida en un número de interacciones.

El número de iteraciones que corresponde al número de un registro que se va a modificar es alimentado en la entrada adicional de cada sub RNA. La entrada restante, en todas las iteraciones, son suministradas con la misma señal de entrada.

Dos salidas de cada sub RNA son usadas para dos diferentes propósitos. La primera, informa acerca de la fuerza de negociación de una sub RNA, mientras que el segundo determina un valor que se inserta en un registro cuando una sub RNA gana una competencia con otras sub RNA.

Al igual que el número de entradas también el número de neuronas ocultas tiene su valor máximo, el mismo para todas las sub RNA. Como antes, el número exacto de neuronas ocultas se determina de manera evolutiva y puede ser diferente para cada sub RNA.

En la Figura 4.7 se muestra el AGCC donde cada parte de una solución evoluciona en una población separada. Para formar una solución completa es necesario seleccionar representantes de cada población (usualmente el mejor de todos) y combinarlos.

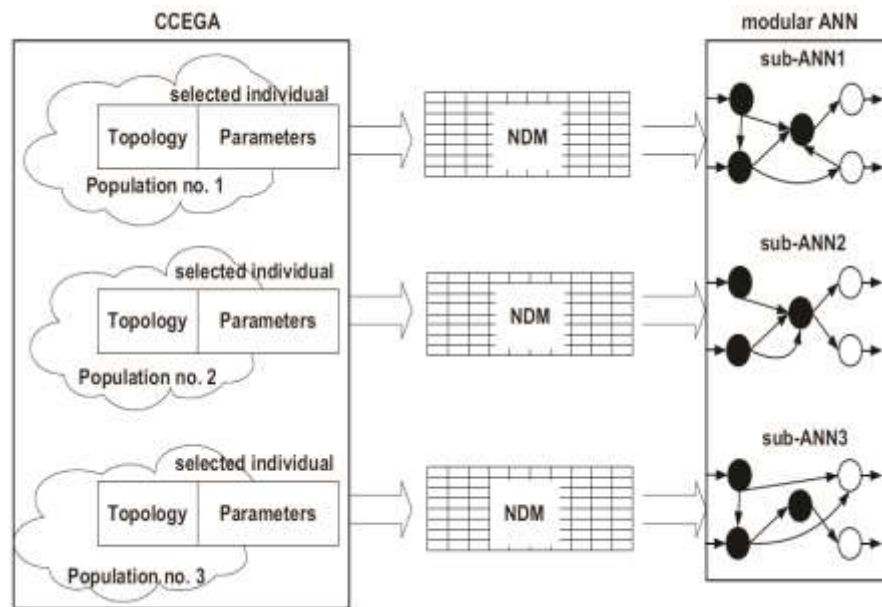


Figura 4.7 Esquema evolutivo [102].

El uso de redes neuronales evolutivas para calcular el curso y la velocidad de [102], servirá de base para el desarrollo del sistema anticolidión, teniendo en cuenta que en [89] se hace uso del CCEGA que se utilizará para analizar las subpoblaciones.

4.4 Uso de redes neuronales

4.4.1 Aplicaciones de Redes neuronales

En el campo científico se han desarrollado investigaciones para la evasión de colisiones y reconocimiento de objetos haciendo uso de redes neuronales. En [103] se emplea la red neuronal backpropagation, que se entrena con características de imágenes de forma que se obtenga el mínimo error posible para clasificarlas.

En [104] se realiza un aumento del rendimiento de las redes neuronales mediante la inserción de un conocimiento previo, a través de la estructura 2D de las imágenes a reconocer, cada una de las redes neuronales convolucionales utilizadas pueden ser entrenadas con dos métodos de regularización: regularización dropout y regularización dropconnect.

Tras la investigación de redes neuronales se concluye que son un método de solución aplicable a cualquier campo de programación y electrónica. Aplicándose con buenos resultados en reconocimiento de imágenes [103], [104].

4.4.2 Uso de redes neuronales como técnica anticolidión

En [102] se utilizan redes neuronales como técnica anticolidión implementada en una red neuronal evolutiva. La red calcula el curso y la velocidad para los vehículos marinos autónomos (VMA), basándose en la información procesada que se recibe desde diferentes dispositivos de los VMA.

Para construir la red, se utilizan dos técnicas neuroevolutivas: ensamblador codificador con operaciones evolutivas (ECOE) y de redes neuronales coevolutivas cooperativas (RNCC).

Para evitar colisiones en el tráfico vehicular terrestre, igualmente se han utilizado redes neuronales como en [105], que propone un modelo probabilístico, denominado modelo de predicción de colisión basado en la red neuronal optimizada con algoritmo genético (CPGN).

Tiene por objetivo garantizar la seguridad de conducción haciendo uso del concepto de conexión de los dos vehículos a internet (internet de las cosas), para ello propone una simulación donde se pronostica la probabilidad de colisión basado en redes neuronales backpropagation, considerando factores como el medio ambiente, los vehículos y la carretera.

Dependiendo del factor detectado se emiten diferentes advertencias al conductor en función de la magnitud del riesgo para el vehículo. Un trabajo similar se presenta en [106] que integra redes neuronales con un algoritmo de red neuronal dinámica (IARND), para predecir los comportamientos de conducción en determinadas circunstancias y así evitar una colisión.

Con el fin de evitar colisiones en los vehículos aéreos de combate no tripulado (VACNT), se ha desarrollado un método para la planificación de vuelo, basado en una RNA entrenada por el algoritmo competitivo imperialista (ACI) [107].

En [108] se presenta el uso de una red neuronal para guiar un robot y evitar colisiones en la exploración de un entorno. El modelo genera una representación del flujo óptico entre el robot y la escena determinando la posición de los objetos, luego envía la representación de ubicación del objetivo para dar órdenes al motor y conducir con éxito al robot alrededor de los obstáculos.

Se emplea también en [109] el prototipo de un dispositivo con robot guía para invidentes brindándoles información visual sobre el entorno que los rodea para evitar colisiones.

Los datos proporcionados por un sensor láser son analizados mediante la técnica de agrupamiento, lo que permite detectar obstáculos, escalones y escaleras. Al ubicar el objeto, el robot dirige al invidente por una trayectoria segura usando líneas en el suelo de desplazamiento o el controlador que funciona con redes neuronales evolutivas.

A continuación, se muestran las tablas con las diferencias de los proyectos mencionados anteriormente con el sistema anticolidión para invidentes.

Proyectos	Aspectos generales	Diferencias
Robots evolutivos con autoorganización en línea y aptitud conductual [92].	Aplican redes neuronales evolutivas para el control del robot y así lograr evadir obstáculos en su camino. Tiene actuadores y sensores infrarrojos.	El sistema sirve para evitar el choque del robot dentro de un escenario pequeño, como lo es una caja de cartón.
Usar la codificación del ensamblador para resolver el problema del péndulo invertido [94].	Emplea métodos de aprendizaje evolutivo y por refuerzo, los cuales son comparados y ambos obtienen buenos resultados.	Este sistema aporta el método de aprendizaje evolutivo de la red neuronal artificial.
Aumentar la diversidad de la población a través del aprendizaje cultural [95].	Las redes evolutivas son empleadas en juegos como: el problema de paridad de 5 bits, el juego de tres en raya y el juego de conectar cuatro.	Emplea 3 poblaciones diferentes, una para cada aplicación.
Diseño de redes neuronales usando algoritmos genéticos [97].	Las redes evolutivas son empleadas en resolver una XOR, problema de cuatro cuadrantes y copia de patrones.	Emplea el mismo tipo de entrenamiento aplicado a 3 tareas diferentes mientras el Sistema Anticolisión para Invidentes tiene 2.
Un nuevo sistema evolutivo para la evolución de redes neuronales artificiales [98].	Usa una nueva forma de evolucionar las redes neuronales por medio de EPNET	Es empleado en problemas de paridad. Utiliza la programación evolutiva de Fogel

Tabla 4.1 Diferencias de proyectos con redes evolutivas en comparación con el Sistema Anticolisión para Invidentes parte 1.

Fuente: Elaboración propia

Proyectos	Aspectos generales	Diferencias
Coevolución cooperativa multiobjetivo de redes neuronales artificiales [99].	Es un modelo cooperativo coevolutivo para la evolución de la topología y pesos de redes neuronales, llamado MOBNET. MOBNET evoluciona subcomponentes que deben combinarse para formar una red, en lugar de redes enteras.	MOBNET resuelve cuatro problemas del mundo real: Problemas del corazón, diabetes, obtención de tarjetas de crédito, clasificación de tipo de vidrio en una escena del crimen. De este proyecto se tomó la cooperatividad aplicada al entrenamiento a las redes.
RNAEBM: redes neuronales artificiales evolutivas basadas en mutaciones [100].	Este método se caracteriza en diseñar un conjunto de operaciones genéticas sin cruce. En cambio, se proporcionan dos mutaciones topológicas y es empleado en el problema de equilibrio de doble polo.	Se diferencia por que el Sistema Anticolisión para Invidentes emplea un cruce y una mutación.
Sistema anticolisión neuronal para vehículo de superficie autónomo [102].	La red calcula el curso y la velocidad para los vehículos marinos autónomos (VMA). Para construir la red, se utilizan dos técnicas neuroevolutivas: Ensamblador codificador con operaciones evolutivas (ECOE) y de redes neuronales coevolutivas cooperativas (RNCC).	De este proyecto se tomó el método neuroevolutivo de RNCC. El Sistema Anticolisión para Invidentes solo emplea el algoritmo genético en las redes neuronales.
Desarrollo de un nuevo sistema robótico para ayudar y guiar a las personas con discapacidad visual [109].	Los datos son proporcionados por un sensor láser, los cuales son analizados mediante la técnica de agrupamiento, lo que permite detectar obstáculos, escalones y escaleras.	El robot dirige al invidente por una trayectoria segura, desplazándose mediante el uso de líneas en el suelo, el controlador funciona con redes neuronales evolutivas probadas únicamente en simulación.

Tabla 4.2 Diferencias de proyectos con redes evolutivas en comparación con el Sistema Anticolisión para Invidentes parte 2.

Fuente: Elaboración propia

Capítulo 5.

Diseño y funcionamiento del sistema anticolidión

El diseño de sistema anticolidión se compone del diseño del hardware y del software, el primero implementa el uso de sensores de ultrasonido en un chaleco, un módulo Arduino y un módulo de sonido. El diseño del software es realizado en Matlab la parte correspondiente a la red neuronal evolutiva, y en Arduino se desarrolla la calibración de los sensores y el software de funcionamiento.

5.1 Diseño del hardware

En la Universidad del Cauca se ha desarrollado un sistema de reconocimiento de obstáculos para movilidad de invidentes [110]. Es un dispositivo basado en un bastón provisto de cuatro sensores de ultrasonido, este tiene dos escenarios definidos, el de control y el de usuario.

El sistema de control tiene la función de efectuar el reconocimiento del medio y lanzar una alerta oportuna en el instante requerido, este está compuesto por tres módulos:

los sensores, el microcontrolador y el sistema de comunicación. El segundo escenario es el de usuario, cuyo rol es desarrollado por el invidente quien maniobra el bastón.

Como primer paso se realizó el análisis del dispositivo (bastón) del proyecto “Sistema de reconocimiento de obstáculos para movilidad de invidentes” [110], como se observa en la Figura 5.1, el cual se examinó de forma detallada extrayendo los sensores para su respectivo funcionamiento en el sistema anticolidión.



Figura 5.1 Análisis dispositivo del proyecto: Sistema de reconocimiento de obstáculos para movilidad de Invidentes.

Fuente: Elaboración propia.

Este proyecto sirve de base para el sistema anticolidión para invidentes, las diferencias y los aspectos a innovar se describen en la Tabla 5.1.

Sistema de reconocimiento de obstáculos para movilidad de invidentes	Sistema anticolidión para invidentes
Aspectos generales	Aspectos de innovación
Detección de obstáculos a nivel del suelo.	Detección de obstáculos a nivel de la cara y pecho.
Detección de obstáculos en la parte frontal	Detección de obstáculos en la parte frontal y posterior del invidente.
Detección únicamente de objetos estáticos	Detección de objetos estáticos y en movimiento debido al uso de redes neuronales evolutivas.
Sistema implementado en bastón con cuatro sensores ultrasónicos	Sistema implementado en chaleco con diez sensores ultrasónicos para mayor cobertura.
Aspectos base del sistema de reconocimiento de obstáculos para movilidad de invidentes utilizados en el presente proyecto	
Uso de sensores ultrasónicos	
Módulo Arduino	
Batería recargable	
Módulo de sonido	

Tabla 5.1 Aspectos base y de innovación entre el sistema de reconocimiento de obstáculos y el sistema anticolidión para invidentes.

Fuente: Elaboración propia.

El hardware del sistema se compone de los módulos como se observan en la Figura 5.2.

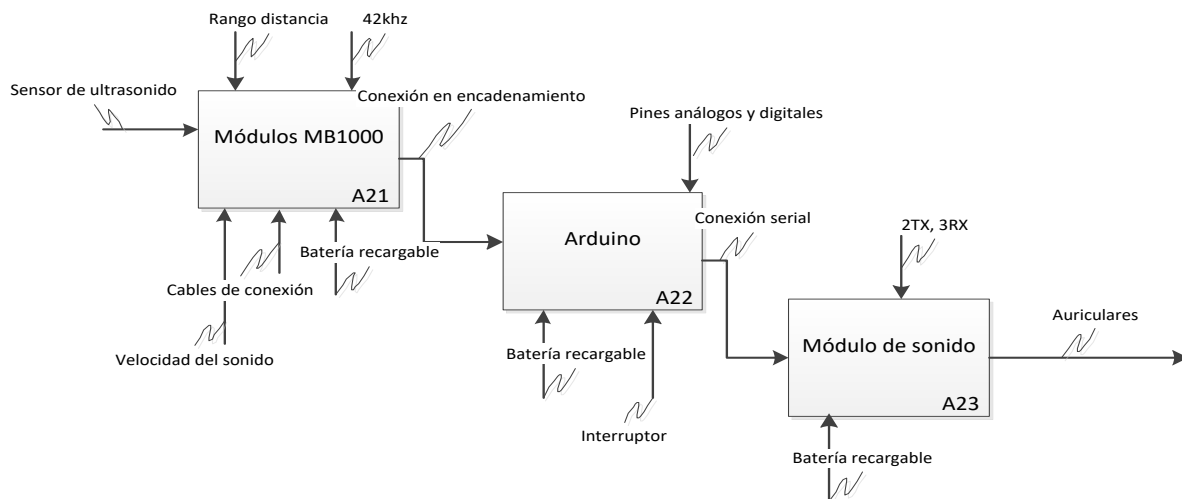


Figura 5.2 Hardware del sistema.

Fuente: Elaboración propia.

El módulo de sensores de ultrasonido MB1000 o Maxbotix EZ0 tiene 10 sensores, cada uno trabaja a 20hz y su onda de 42 Khz se desplaza a la velocidad del sonido para la detección de objetos hasta el rango de 645 cm, estos se conectan al módulo Arduino a través de una conexión encadenada de forma analógica en donde se procesa y filtra la información proporcionada por los sensores, un módulo de sonido se comunica de forma serial con el Arduino y se encarga de comunicar al invidente la presencia de obstáculos.

El sistema se alimenta con batería recargable y tiene interruptores para su funcionamiento, los módulos se implementan en una prenda de vestir como en [50], con la diferencia de que se ubicaron los sensores en lugares estratégicos tanto en la parte frontal como en la parte posterior de la persona. Los componentes serán desmontables tomando como referencia [49]. Obteniendo ergonomía en el dispositivo.

- **Módulo de Sensores**

Los sensores trabajan con una frecuencia de 20 Hz y envían una onda de ultrasonido de 42 Khz, estos se encuentran ubicados de la siguiente manera: 5 en la parte frontal y 5 en la parte posterior, están distribuidos para detectar objetos provenientes de la parte superior, frontal, inferior, derecha e izquierda. Ver Figura 5.3.



Figura 5.3 Distribución de los sensores en la parte frontal y posterior.

Fuente: Elaboración propia.

- **Módulo Arduino Mega**

Es una placa de circuito impreso con microcontrolador, tiene varios puertos analógicos para controlar la totalidad de los sensores utilizados en el proyecto por medio de esta tarjeta.



Figura 5.4 Arduino Mega
Fuente: Elaboración propia

- **Módulo de sonido**

La referencia del módulo de sonido es DFPlayer Mini, trabaja con 3.3V a 5V, presentando bajo consumo de energía. En este módulo se realizaron las grabaciones de alerta para él invidente, activando las grabaciones mp3 en función de la respuesta de la red neuronal evolutiva. La Figura 5.5 muestra el módulo de sonido.



Figura 5.5 Módulo de sonido.
Fuente: Elaboración propia.

- **Baterías**

El sistema se alimenta con baterías tipo litio que se conectan a través de un conector Molex para proporcionar energía y facilitar su recarga. Ver Figura 5.6. Estas baterías

tienen una duración de 8.6 horas, considerando que el consumo del dispositivo es de 695mA y la corriente dada de la batería es de 6000mA/h.



Figura 5.6 Baterías.
Fuente: Elaboración propia.

5.1.1 Proceso de construcción del dispositivo anticolidión para invidentes

Primeramente, se adecuó el chaleco con agujeros para implementar los sensores en las posiciones deseadas de manera que se puedan desmontar. Los sensores se encuentran en cajas de acrílico diseñadas en el software SolidWorks para ubicarse en el chaleco, al no haber limitación en colocar un sensor tras otro se realizaron varias pruebas para encontrar su mejor ubicación para obtener una respuesta rápida a la localización de los objetos, y que la onda ultrasónica no entre en contacto con el mismo chaleco siendo ubicados a un ángulo de 20° respecto al mismo como se muestra en la Figura 5.8.

Cada sensor se ubica en la parte superior, abajo, derecha e izquierda de acuerdo con el diseño de las cajas. En la caja frontal específicamente en el sensor inferior se cambió su posición en un ángulo de 70° con respecto al sensor frontal para detectar objetos cercanos al pie del invidente. Ver Figura 5.7.

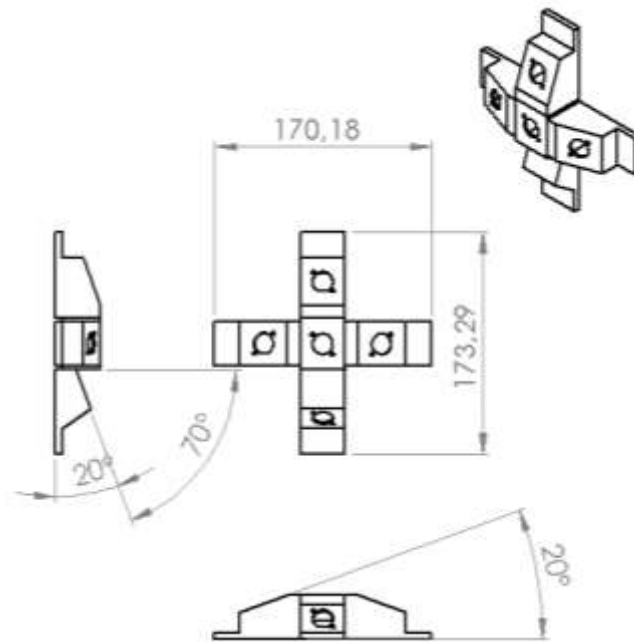


Figura 5.7 Cajas para sensores izquierdo, derecho y superior
Fuente: Elaboración propia.

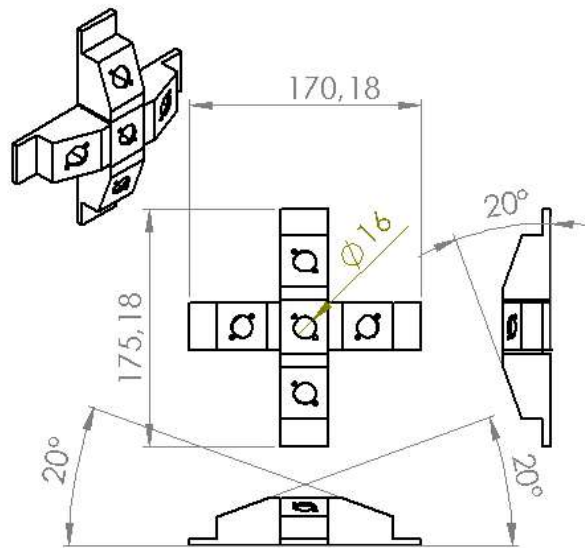


Figura 5.8 Caja del conjunto de los sensores posteriores.
Fuente: Elaboración propia.

Las cajas con los sensores se contemplan en la Figura 5.9 y en la Figura 5.10, estos se distribuyen de la siguiente manera:

1. Sensor arriba parte frontal.
2. Sensor frente parte frontal.
3. Sensor abajo parte frontal.
4. Sensor derecha parte frontal.
5. Sensor izquierda parte frontal.
6. Sensor arriba parte posterior.
7. Sensor frente parte posterior.
8. Sensor abajo parte posterior.
9. Sensor derecha parte posterior.
10. Sensor izquierda parte posterior.

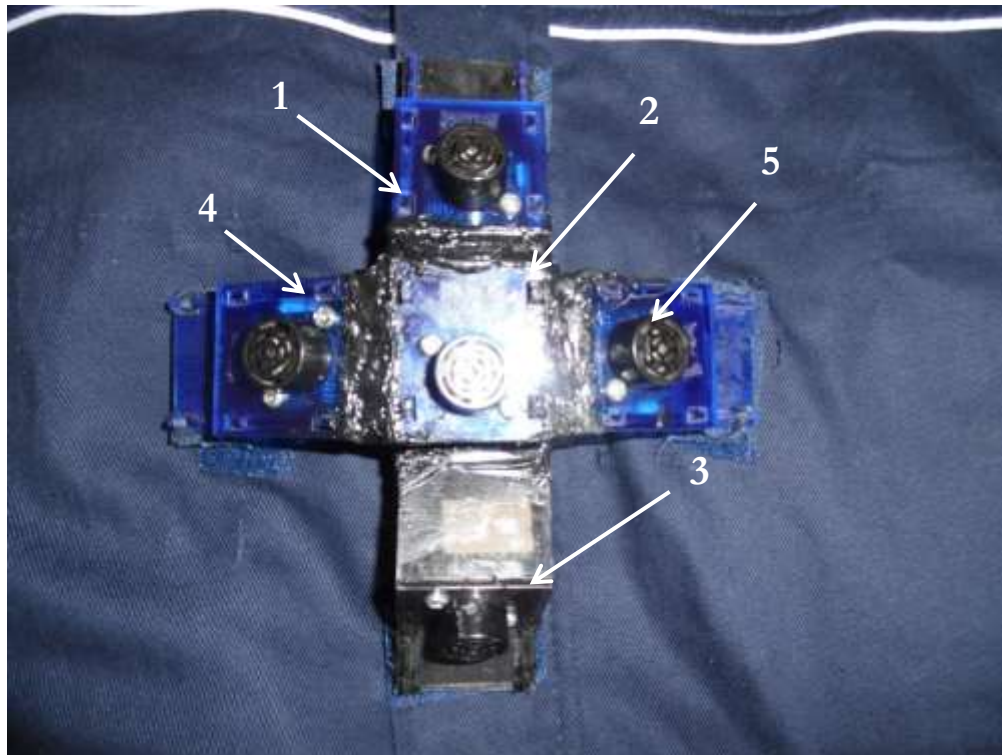


Figura 5.9 Conjunto de sensores frontales.
Fuente: Elaboración propia.

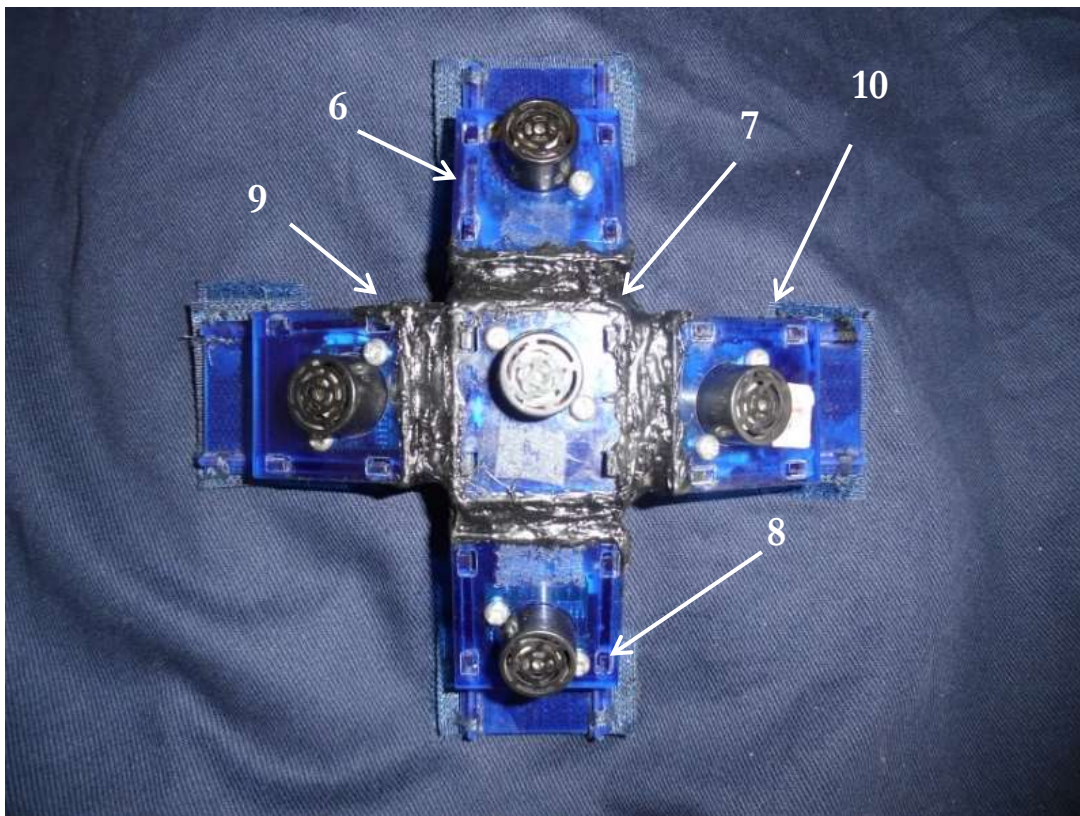


Figura 5.10 Conjunto de sensores frontales.

Fuente: Elaboración propia.

Los 10 sensores se conectaron entre sí, en encadenamiento a la parte analógica del módulo Arduino. El módulo de sonido se conecta a la parte digital del Arduino. Ver Figura 5.11.

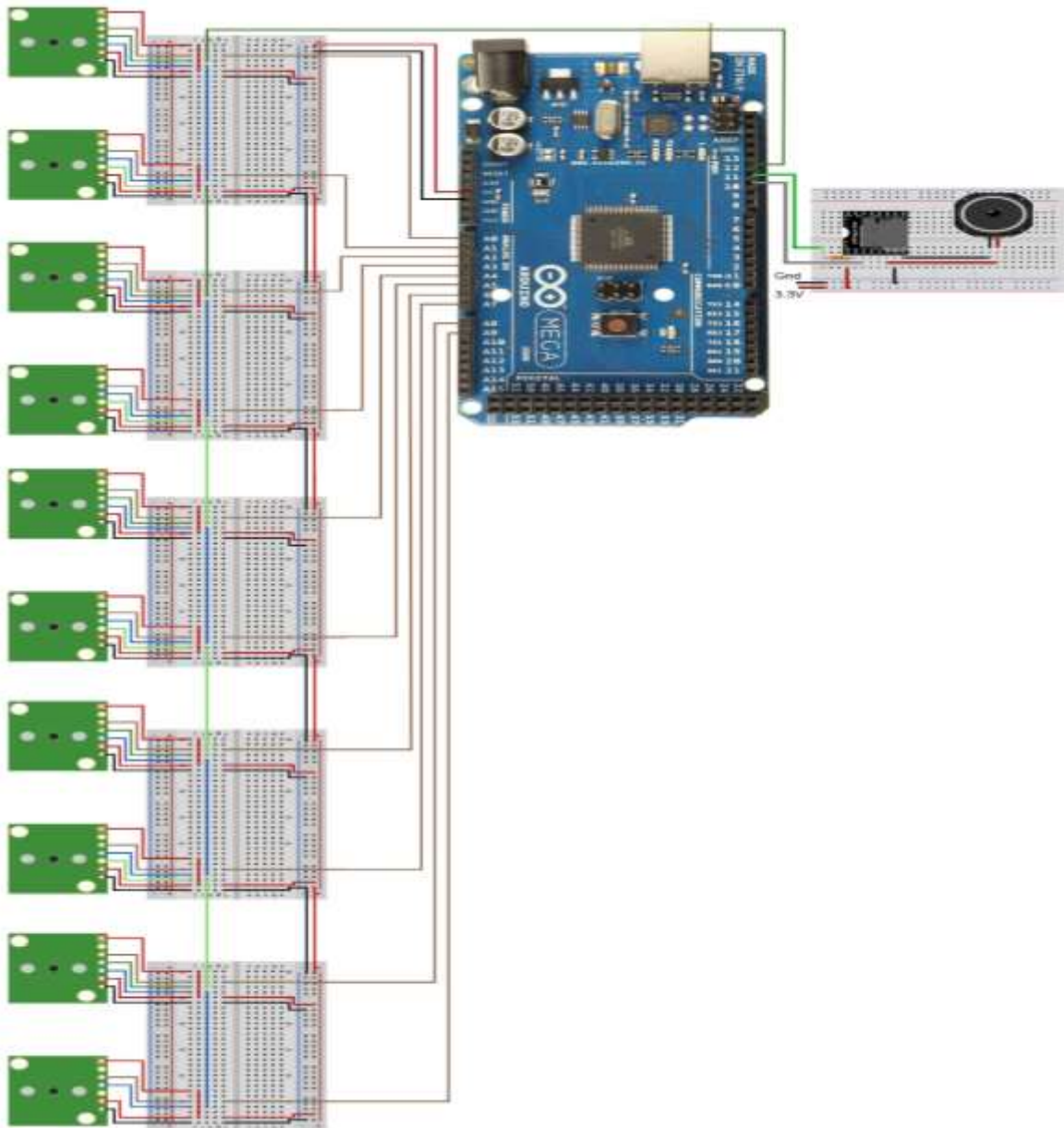


Figura 5.11 Circuito del sistema.
Fuente: Elaboración propia.

La conexión detallada de los sensores a los diferentes pines del Arduino se muestra en la Tabla 5.2.

PIN	Función	Señal
A0	Entrada analógica A0	Sensor ultrasonido 1
A1	Entrada analógica A1	Sensor ultrasonido 2
A2	Entrada analógica A2	Sensor ultrasonido 3
A3	Entrada analógica A3	Sensor ultrasonido 4
A4	Entrada analógica A4	Sensor ultrasonido 5
A5	Entrada analógica A5	Sensor ultrasonido 6
A6	Entrada analógica A6	Sensor ultrasonido 7
A7	Entrada analógica A7	Sensor ultrasonido 8
A8	Entrada analógica A8	Sensor ultrasonido 9
A9	Entrada analógica A9	Sensor ultrasonido 10
A10	Entrada analógica A10	Medidor de voltaje
12	Entrada digital 12	Inicia el cambio de sensor

Tabla 5.2 Conexión de los sensores a los pines del Arduino
Fuente: Elaboración propia.

Se agregaron dos bolsillos al chaleco, uno para el módulo Arduino y otro para la batería con el fin de distribuir los componentes de manera que el peso de los mismos este equilibrado para el usuario. Ver Figura 5.12 y Figura 5.13. El módulo de sonido y el Arduino se encuentran protegidos en cajas.

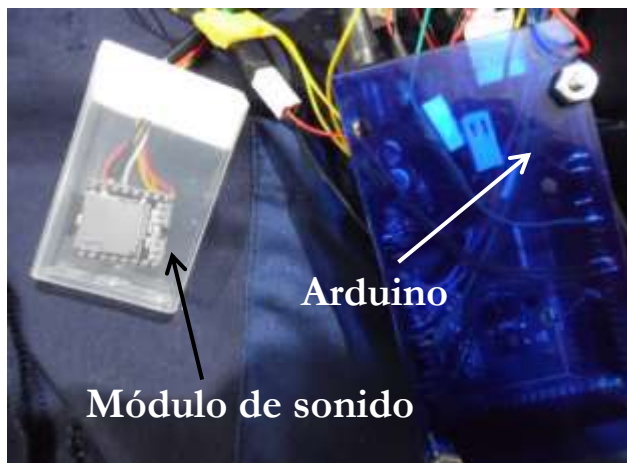


Figura 5.12 Circuito componentes principales.
Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 5.12 se observan los componentes principales del circuito los cuales son el Arduino, el cable de conexión con los sensores.

La Figura 5.13 muestra la distribución de los componentes del circuito y los bolsillos de la batería y el Arduino.

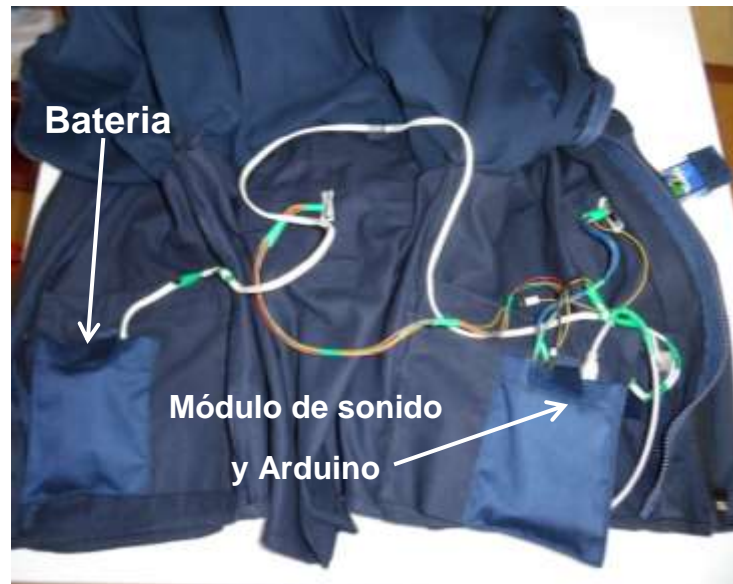


Figura 5.13 Distribución de los componentes del circuito.
Fuente: Elaboración propia.

Se cubrió con tela el circuito para su protección, los componentes del dispositivo para incidentes se pueden desmontar para el lavado del chaleco. Ver Figura 5.14.



Figura 5.14 Chaleco con cubierta de tela para protección del circuito.
Fuente: Elaboración propia.

5.1.2 Modo de operación dispositivo anticolidión para invidentes

El dispositivo tiene dos interruptores, el primero está ubicado en la parte inferior izquierda del chaleco para encendido general de sistema, el segundo está ubicado arriba del primer interruptor y permite el cambio de detección de obstáculos estáticos a objetos con movimiento.

5.2 Diseño del software

El software se compone del diseño del AGCC y del programa de funcionamiento como se muestra en la Figura 5.15.

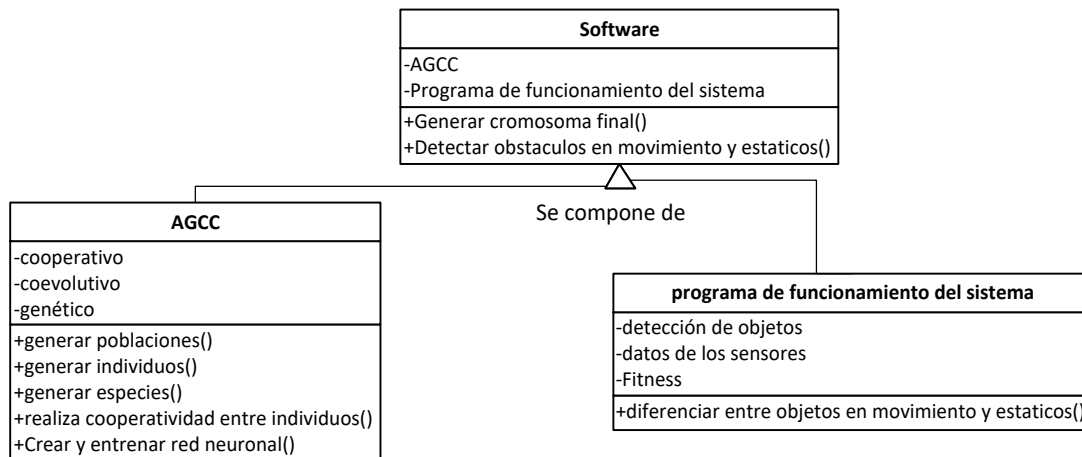


Figura 5.15 Diagrama de clases software.

Fuente: Elaboración propia.

El diseño del software se realiza en Matlab, obteniendo así los datos de los sensores. Con base a ellos se programó la red neuronal recurrente basada en [82], debido a que la red utilizada en el proyecto es una red neuronal evolutiva tipo recurrente, se implementó el modelo, características, modus operandi, la forma de codificar y el esquema evolutivo tomando como base principal a [102], obteniendo así los pesos de la red. Posteriormente se aplica el paso hacia delante de la red recurrente de acuerdo con su estructura y características de [82].

En el aprendizaje de esta red se emplea el algoritmo genético coevolutivo cooperativo, teniendo en cuenta la estructura presentada en [88] y [89]. A continuación, en la Figura 5.16 se muestra el diagrama de clases para la generación de la red neuronal evolutiva con el AGCC.

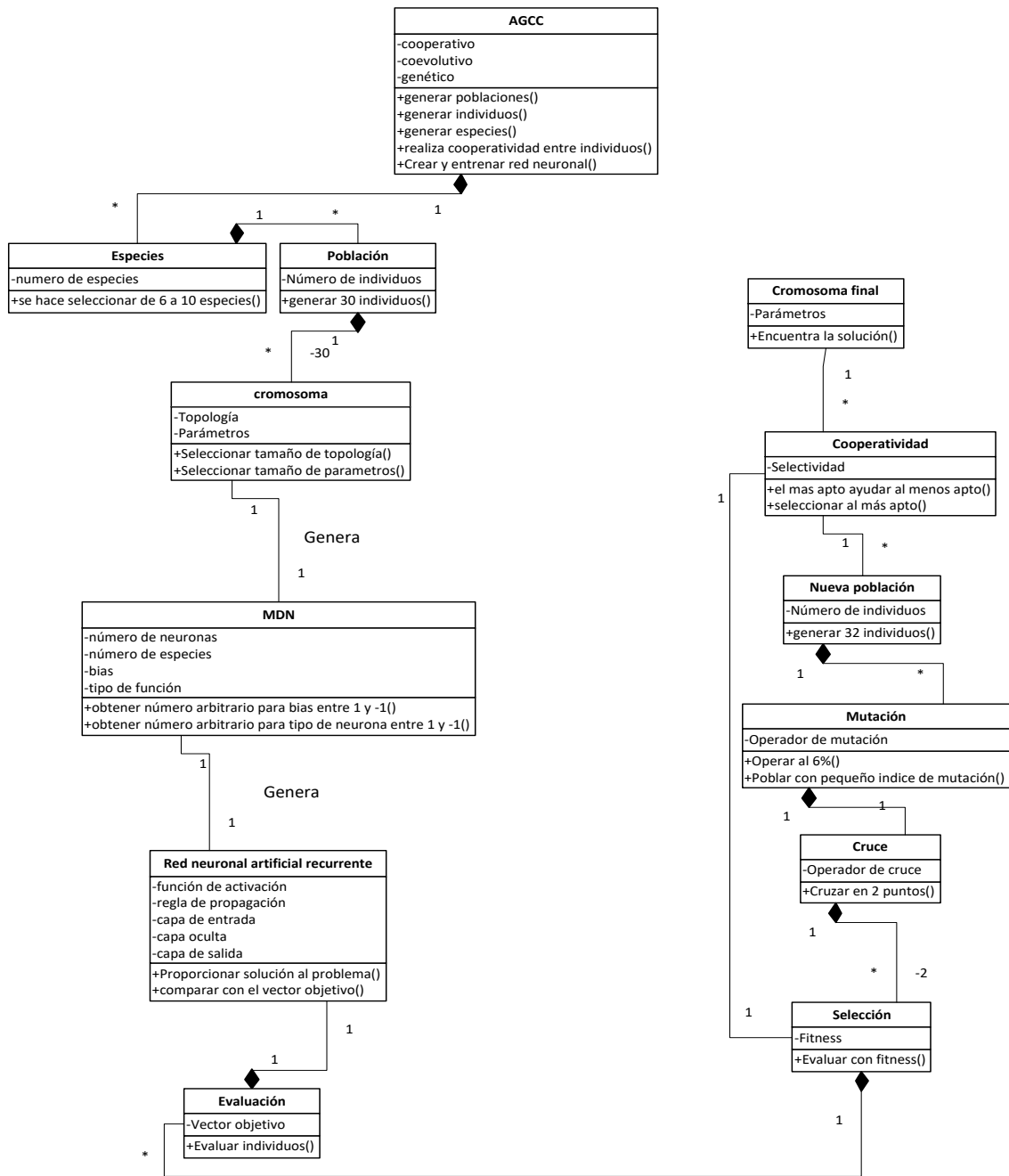


Figura 5.16 Diagrama de clases generación red evolutiva.

Fuente: Elaboración propia.

Al tener 10 sensores el número máximo de especies serán 10, para la solución al problema pueden ser de 6 a 10 especies, dependiendo de éste número, se agrupan las respuestas de los sensores, el mismo programa se encarga de seleccionar la cantidad, a menor número de especies, es mayor el tiempo de ejecución, como se muestra en la Tabla 5.3, por ende se trabajó mínimo con un tiempo de 5 horas que equivale a 6 especies, luego se crea una población aleatoria de 30 individuos, por cada población se extrae un número de individuos, como mínimo debe ser un representante por cada población. En seguida se puede observar parte del código para la elaboración de la población.

```

1   for pob=1:numdepob
2       for x=1: to
3           T(x)=randi ([0 1]);
4           crom (x) = T (x);
5       end
6       for x=1: pa
7           T(x)=randi ([0 1]);
8           crom (x)=T(x);
9       end
10      for x=1:pa
11          p (x)= -1+(1+1)*rand;
12          crom (x+to)=p(x);
13      end
14      for y=1: to+pa
15          pobla (pob,y)=crom (y);
16      end
17  end

```

Número de especies	Número de generaciones	Tiempo de ejecución (s)
10	262	55.9
9	9653	464.0
8	26806	1673.7
7	57641	6043.6
6	70368	8431.1
5	166916	16438

Tabla 5.3 Número de especies
Fuente: Elaboración propia.

Cada individuo representa un cromosoma, la topología del cromosoma se formó con números binarios y los parámetros con números reales del rango de -1 a 1 que son dados por el computador de forma aleatoria.

Luego estos cromosomas pasan a ser evaluados, la forma de evaluarlos es mediante la ejecución de la red neuronal teniendo en cuenta el número de neuronas, el tipo de neurona, topología y el número de especies, esta información es dada por una MDR que forma la red neuronal recurrente.

En la Tabla 5.4 se observa la selección de un individuo de la población 1, específicamente el cromosoma 5. Para el proceso de ser seleccionado cada cromosoma forma una MDR y posteriormente la red neuronal recurrente, la salida de la red neuronal debe estar en el rango de -1 a 1 para ser seleccionada.

Cromosoma	Topología						Parámetros								
1	1	1	0	1	1	0	-0.1354	0.6011	0.3777	0.8018	-0.7491	-0.9704	-0.5986	-0.5564	-0.2164
2	1	1	1	1	0	0	-0.0942	0.6030	0.6957	0.2626	-0.2711	-0.9262	0.8563	0.8012	0.9675
3	0	0	1	1	0	1	-0.8386	-0.4660	-0.4049	0.8492	0.6796	0.5775	0.5929	0.8487	0.3798
4	1	1	0	0	0	0	-0.4499	-0.0624	-0.7947	0.1617	-0.9231	0.5999	0.3851	-0.3090	-0.4773
5	0	1	1	1	1	0	0.3739	0.7885	0.7215	0.4514	0.8063	0.8034	0.3208	0.7401	0.8710
6	1	1	1	1	1	1	0.0869	-0.0441	-0.4336	-0.1925	-0.3108	0.9923	0.0220	-0.2366	0.4039
7	0	0	0	1	0	0	-0.6563	-0.9710	-0.9924	0.0159	0.6653	0.9507	-0.2781	0.7786	-0.4728
8	0	0	1	1	1	0	0.5047	-0.0287	0.9870	-0.0296	-0.8056	-0.0140	-0.4331	-0.5984	-0.3650
9	0	1	1	1	1	0	-0.4660	-0.8643	-0.9296	-0.3575	0.3840	0.8760	0.1072	-0.5675	-0.6845
10	0	1	1	1	0	1	0.9497	-0.0705	0.7377	-0.0145	0.9929	0.4798	-0.5810	-0.1711	-0.8042
11	1	0	0	0	0	1	-0.3579	0.7605	-0.6319	0.6783	0.1636	0.1177	-0.0333	0.2285	-0.5356
12	1	0	1	0	1	1	-0.0504	-0.2903	0.4141	0.5445	0.4547	0.8876	0.7063	-0.7850	0.2679
13	1	1	1	1	1	1	-0.2667	-0.8770	0.0563	-0.8929	0.8280	0.9270	-0.7071	-0.7367	0.0525
14	1	0	1	1	0	0	0.6207	0.0609	-0.1887	0.0701	0.0049	0.1668	0.1530	-0.0505	0.6538
15	0	0	1	0	0	0	0.4833	0.8528	-0.1593	0.5805	0.4522	0.9875	-0.3863	-0.2280	-0.1334
16	0	0	0	1	0	1	-0.5656	-0.4698	0.0544	-0.5533	0.5172	0.3546	0.5739	-0.3302	0.5554
17	0	1	0	1	1	0	0.7325	-0.9914	-0.4374	-0.1553	0.5992	-0.2559	0.8898	0.3597	-0.0627
18	0	1	1	1	1	0	0.8535	-0.9919	-0.8300	-0.3346	0.9515	-0.9258	0.1581	-0.5598	0.6204
19	0	1	0	0	0	0	0.1753	0.5992	0.9908	0.4963	0.1021	-0.5817	-0.1724	0.9596	-0.6707
20	1	1	0	1	1	0	0.3854	-0.0838	-0.2935	-0.0293	0.4355	-0.4759	0.8888	-0.6199	-0.0507
21	0	0	1	1	1	1	0.0996	0.6190	0.2037	0.4490	-0.9062	-0.9177	-0.2041	-0.1481	0.1509
22	0	0	1	0	0	1	-0.4080	0.0713	0.0987	0.4751	-0.4985	-0.6437	0.9235	-0.5501	-0.5249
23	1	1	1	0	0	1	0.6462	0.4323	-0.8680	0.7772	-0.3508	0.4422	0.4968	0.1595	0.4281
24	1	1	0	1	1	1	0.4957	0.2234	-0.5637	0.7915	0.9847	-0.0428	0.7420	0.8477	-0.8543
25	1	1	0	0	0	0	0.8394	0.9932	-0.8426	0.3204	0.5330	0.7327	0.4369	0.6488	-0.9046
26	1	1	1	1	0	1	0.5774	0.3141	-0.9582	-0.8262	0.3595	0.4044	0.1240	-0.2792	0.5514
27	0	1	0	1	0	1	-0.2899	0.9862	0.8558	0.6735	0.3481	0.6017	0.5943	0.8479	-0.4474
28	0	1	1	1	1	1	0.5490	-0.3622	0.2262	0.5259	0.8124	-0.5321	0.6417	-0.4100	0.0956
29	1	0	1	0	0	0	-0.9295	-0.3267	0.4945	0.4012	-0.5805	0.1346	0.2930	-0.9326	0.9210
30	0	0	0	0	0	0	-0.2529	0.2597	0.0753	-0.2066	-0.5349	0.3792	-0.6702	-0.8756	-0.6429

Tabla 5.4 Selección de un individuo de la población 1.

Fuente: Elaboración propia

Pasos para la evaluación:

a) MDR

Se forman dos matrices, una con la topología que se muestra en la Tabla 5.5 y otra con los parámetros en la Tabla 5.6, que a su vez se multiplican elemento por elemento para formar la MDR como se muestra en la Tabla 5.7.

0	1	1	1	1	0	0	1
1	1	1	0	0	1	1	1
1	0	0	1	1	1	1	0
0	1	1	1	1	0	0	1
1	1	1	0	0	1	1	1
1	0	0	1	1	1	1	0

Tabla 5.5 Matriz topológica
Fuente: Elaboración propia.

0.3739	0.7885	0.7215	0.4514	0.8063	0.8039	0.3208	0.7401
0.8710	0.3739	0.7885	0.7215	0.4514	0.8063	0.8039	0.3208
0.7401	0.8710	0.3739	0.7885	0.7215	0.4514	0.8063	0.8039
0.3208	0.7401	0.8710	0.3739	0.7885	0.7215	0.4514	0.8063
0.8039	0.3208	0.7401	0.8710	0.3739	0.7885	0.7215	0.4514
0.8063	0.8039	0.3208	0.7401	0.8710	0.3739	0.7885	0.7215

Tabla 5.6 Matriz de parámetros
Fuente: Elaboración propia.

	1	2	3	4	5	6	Bias	Tipo de neurona
1	0	0.7885	0.7215	0.4514	0.8063	0	0	0.7401
2	0.8710	0.3739	0.7885	0	0	0.8063	0.8039	0.3208
3	0.7401	0	0	0.7885	0.7215	0.4514	0.8063	0
4	0	0.7401	0.8710	0.3739	0.7885	0	0	0.8063
5	0.8039	0.3208	0.7401	0	0	0.7885	0.7215	0.4514
6	0.8063	0	0	0.7401	0.8710	0.3739	0.7885	0

Tabla 5.7 MDR
Fuente: Elaboración propia.

El tamaño de la MDR define el número de neuronas que en este caso son 6 neuronas, las dos últimas columnas de la matriz define la bias y el tipo de neurona.

Para tener diversidad del tipo de neurona se aplican dos tipos de funciones que son lineal o sigmoide, ya que no se sabe cuál de las dos funciones ayudara más a encontrar una solución satisfactoria.

Sabiendo que la codificación toma valores comprendidos entre -1 y 1 se aplica el valor absoluto para que la condición quede comprendida entre 0 a 1, los valores menores de 0,5 se aplica la función sigmoide y a los valores mayores de 0,5 se aplica la función lineal, esto se realiza para no saturar el programa y ayude a converger rápidamente a la solución del problema de detección, la condición de selección de la función de activación se define por lo siguiente:

si Valor_absoluto(f) > 0.5 → la función es de tipo lineal
si Valor_absoluto(f) < 0.5 → la función es de tipo sigmoide

b) Neuronas de la capa oculta

Para definir el tamaño de las neuronas se incrementan las neuronas de capa oculta hasta encontrar el resultado de la red neuronal que debe estar entre el rango de (1,-1), en caso contrario, se genera una nueva población y se cambia de individuo.

En la Figura 5.17 se observan tres MDRs elaboradas por el programa, donde la MDR resaltada en rojo es la óptima debido a que las anteriores no cumplieron con el objetivo, por lo que el software creó una nueva MDR con más neuronas de capa oculta.

MDN =								
	0	0.7885	0.7215	0.4514	0.8063	0		
	0	0.7401	0.8710	0.3739	0.7885	0		
	0	0.8063	0.8039	0.3208	0.7401	0		
	0	0.7885	0.7215	0.4514	0.8063	0		
MDN =								
	0	0.7885	0.7215	0.4514	0.8063	0	0	
0.7401	0.8710	0.3739	0.7885	0.7885	0	0	0.8063	
0.8039	0.3208	0.7401	0	0	0.7885	0.7215	0.8063	
0.4514	0.8063	0	0	0.7401	0.8710	0.3739	0.8063	
0.7885	0	0	0.8063	0.8039	0.3208	0.7401	0.8063	
MDN =								
	0	0.7885	0.7215	0.4514	0.8063	0	0	0.7401
0.8710	0.3739	0.7885	0	0	0.8063	0.8039	0.3208	0.8063
0.7401	0	0	0.7885	0.7215	0.4514	0.8063	0	0
0	0.7401	0.8710	0.3739	0.7885	0	0	0	0.8063
0.8039	0.3208	0.7401	0	0	0.7885	0.7215	0.4514	0.8063
0.8063	0	0	0.7401	0.8710	0.3739	0.7885	0	0

Figura 5.17 Matrices de definición de red elaboradas por el programa
Fuente: Elaboración propia.

Con base en la MDR óptima se tiene la red neuronal con sus respectivos pesos. Ver Figura 5.18

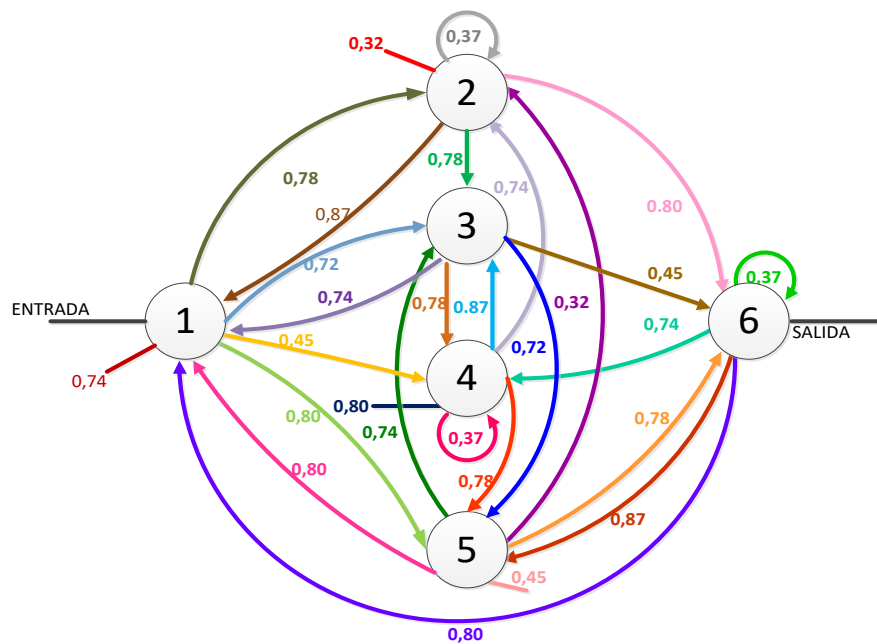


Figura 5.18 Red neuronal evolutiva
Fuente: Elaboración propia.

La salida de la RNAE se compara con el vector objetivo para detección de objetos en movimiento y estáticos el cual es:

$$\left(\frac{\mp ds_{max} \mp ds_{min}}{2}\right)/ds_{max} \quad (5.1)$$

Donde la variable ds_{max} es el máximo valor que detecta el sensor de ultrasonido normalizado, ds_{min} es la distancia recorrida por cada paso que da el invidente con su correspondiente valor normalizado.



Figura 5.19 Recta numérica de detección 1

Fuente: Elaboración propia.

La recta es negativa indicando que un objeto en movimiento se acerca al invidente, sobre la recta están los valores normalizados de los mismos.

La recta positiva se emplea para objetos estáticos. En este caso solo interesan objetos de 0 a 90cm.



Figura 5.20 Recta numérica de detección 2

Fuente: Elaboración propia.

El vector objetivo sale de la información de las rectas.

Una vez encontrados los mejores individuos, estos son seleccionados y categorizados según su valor de aptitud o *fitness* para luego ser re combinados.

El valor de aptitud empleado es el siguiente:

$$F1(red) = \begin{cases} ds > -1 & (\text{condición } a) \\ ds < 1 & (\text{condición } b) \\ ds > -\left(\frac{\bar{\mp}dsm \mp dsc}{2}\right) \pm dsm & (\text{condición } c) \\ ds < \left(\frac{\bar{\mp}dsm \mp dsc}{2}\right) \pm dsm & (\text{condición } d) \\ ds \leq 0 & (\text{condición } e) \end{cases} \quad (5.2)$$

$$F2(red) = \begin{cases} F1(red) & (\text{condición } a, b, c, d) \\ ds \geq 0 & (\text{condición } e) \end{cases} \quad (5.3)$$

Donde ds es el vector objetivo o la respuesta de la red neuronal recurrente, dsm es el dato máximo del sensor normalizado, dsc es el dato del sensor mínimo de detección de obstáculos normalizado.

En las ecuaciones (5.2) y (5.3) la condición **a** y **b** se establece para asegurar que gran parte de individuos de cualquier población puedan ingresar en la primera parte de la evaluación, ya que en su material genético puede estar la respuesta que se busca. La condición **a** comprende el rango de 0 a -1 y la condición **b** comprende el rango de 0 a 1.

Las condiciones **c** y **d** para dar convergencia a la respuesta de la red neuronal la recta se divide en dos partes con el fin de dar datos exactos.

La condición **c** es alerta de objeto en movimiento a menos de 3.525m. La condición **d** es alerta de objeto en movimiento de 3.525m a 6.45m.

La condición **e** es para asegurar la convergencia de la red.

La recombinación se realiza en 2 puntos, los padres seleccionados se muestran en la Tabla 5.8 (cromosomas 5 y 1) y los hijos se muestran en la Tabla 5.9.

Topología						Parámetros								
0	1	1	1	1	0	0.3739	0.7885	0.7215	0.4514	0.8063	0.8034	0.3208	0.7401	0.8710
1	1	0	1	1	1	-0.1354	0.6011	0.3777	0.8018	-0.7491	-0.9704	-0.5986	-0.5564	-0.2164

Tabla 5.8 Padres seleccionados

Fuente: Elaboración propia.

Topología						Parámetros								
0	1	1	1	1	1	-0.1354	0.6011	0.3777	0.8018	0.8063	0.8034	0.3208	0.7401	0.8710
1	1	0	1	1	0	0.3739	0.7885	0.7215	0.4514	-0.7491	-0.9704	-0.5986	-0.5564	-0.2164

Tabla 5.9 Hijos

Fuente: Elaboración propia.

Algunos de los individuos con bajo índice de mutación también pasarán a ser evaluados creando una nueva población, el índice de mutación empleado es del 6%, luego se aplica la cooperatividad, el individuo que obtenga mejores resultados ayudará al que esté con bajo valor de aptitud. Si no se encuentra la respuesta pasarán de nuevo los mejores individuos a ser seleccionados en una nueva generación, es decir si la respuesta no es la deseada volverán a la parte de selección hasta obtener la respuesta deseada, en este proceso el programa creó como mínimo 600 redes neuronales. Como resultado se obtuvieron los siguientes cromosomas o redes neuronales óptimas gracias a la aplicación de la cooperación. Los cromosomas de la parte estática se encuentran en la Tabla 5.10 y en la Tabla 5.11, los cromosomas para detección de objetos en movimiento se plasman la Tabla 5.12 y en la Tabla 5.13.

N° Cromosoma	Topología						Parámetros								
1	0	0	0	1	1	1	0.9503	0.1118	-0.3784	-0.1494	0.4020	-0.6408	-0.9409	0.1538	-0.1843
2	1	1	0	1	0	0	-0.6198	-0.7734	0.5689	-0.0178	-0.2248	-0.5600	-0.3730	-0.9010	-0.6034
3	0	1	0	1	1	0	0.8520	-0.1221	-0.6017	0.1868	-0.6852	-0.4629	0.0621	0.4250	-0.8482
4	0	0	1	1	1	1	-0.6254	-0.0951	0.1129	0.7809	-0.1112	-0.0469	0.0706	0.3717	-0.9738
5	1	0	1	1	1	1	-0.5296	-0.1230	0.1978	0.3813	0.3289	-0.5533	-0.1394	-0.1771	-0.1096

Tabla 5.10 Cromosomas de las redes neuronales óptimas de la parte estática

Fuente: Elaboración propia.

N° Cromosoma	N° de Neuronas en la capa ocultas
1	4
2	3
3	3
4	5
5	4

Tabla 5.11 Número de neuronas en las capas ocultas de la parte estática

Fuente: Elaboración propia.

N° Cromosoma	Topología						Parámetros								
1	1	1	1	0	0	0	0.3508	-0.3573	-0.9066	0.6497	-0.4863	-0.2618	0.7617	0.6633	-0.4424
2	1	0	0	1	1	0	0.6765	-0.7179	-0.2285	-0.4159	-0.9330	-0.1880	0.4326	0.8427	0.9680
3	1	0	1	1	0	1	0.6351	0.3122	0.0547	-0.5507	-0.1470	0.2103	-0.2522	-0.2707	0.3289
4	1	0	1	1	1	1	-0.2109	0.5922	-0.0152	0.8483	0.4050	-0.1587	0.2877	-0.8434	-0.2385
5	0	1	0	1	0	1	0.8583	0.5363	0.0773	0.3346	-0.3085	0.4453	-0.7656	-0.6384	-0.6123
6	1	1	1	0	1	1	-0.6198	-0.5950	0.8025	0.8181	0.7967	-0.2068	0.7472	-0.1056	0.8782
7	1	0	1	1	0	0	-0.9931	-0.4980	0.6248	0.9161	-0.3177	-0.9348	0.6101	-0.3702	0.1322
8	1	0	1	1	1	1	-0.2734	-0.3344	0.2176	-0.0314	-0.2821	-0.9427	0.5347	-0.5252	0.3318
9	1	1	1	0	0	1	0.2410	0.7250	-0.0861	0.1463	-0.7332	-0.5914	0.7749	-0.3453	-0.6034
10	1	1	1	1	1	1	-0.7094	-0.5340	-0.0185	-0.4229	-0.3323	-0.3950	-0.7260	-0.4859	0.5848

Tabla 5.12 Cromosomas de las redes neuronales óptimas de la detección de objetos en movimiento.

Fuente: Elaboración propia.

N° Cromosoma	N° de Neuronas en la capa ocultas
1	3
2	4
3	3
4	5
5	3
6	5
7	4
8	5
9	4
10	3

Tabla 5.13 Número de neuronas en las capas ocultas de la detección de objetos en movimiento.

Fuente: Elaboración propia.

En la solución del problema se observa la obtención de una red neuronal óptima, la mayoría usa 3 neuronas en la capa oculta, el tiempo de entrenamiento fue de 405.848 segundos y 16.638 generaciones.

5.3 Software de funcionamiento

Una vez elaboradas las redes neuronales se aplican en el software de funcionamiento del sistema que es el encargado de detectar objetos estáticos y en movimiento. Ver Figura 5.21.

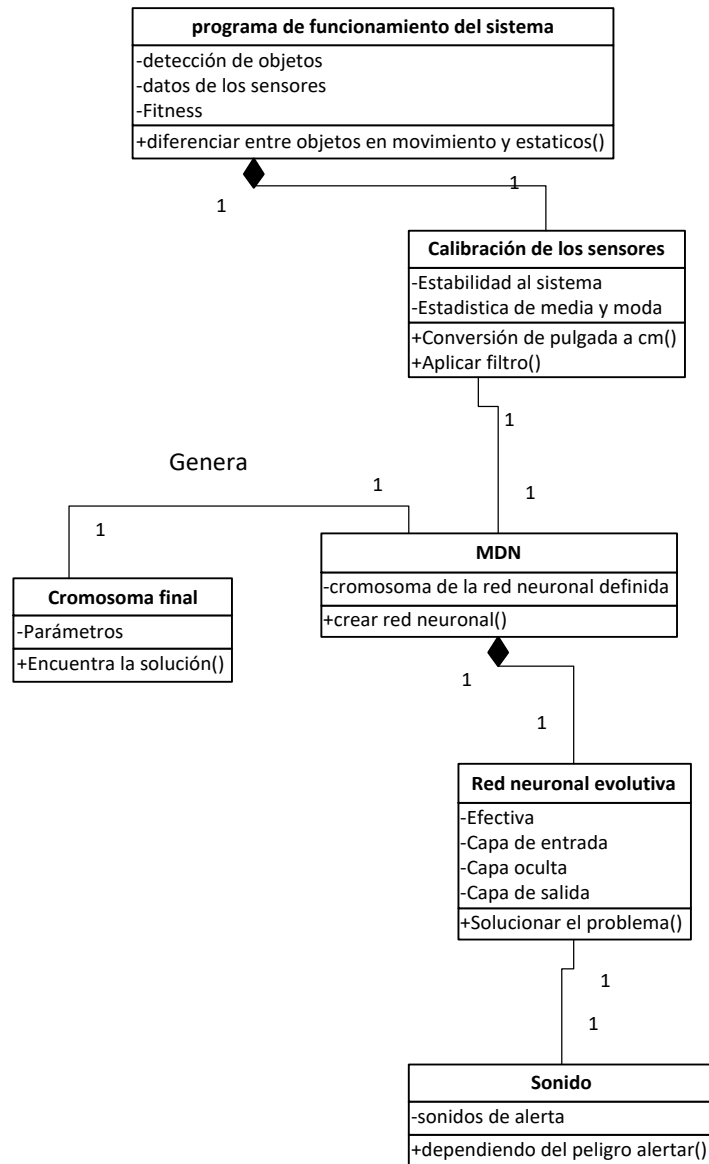


Figura 5.21 Diagrama de clases del software de funcionamiento
Fuente: Elaboración propia.

5.3.1 Calibración de los sensores

Inicialmente se trabajó con un solo sensor de ultrasonido con entrada analógica que se enlazó a Matlab por medio del módulo Arduino.

Después fue calibrado teniendo en cuenta el voltaje analógico del sensor, los datos recibidos del sensor y la distancia se observan en la Tabla 5.14.

Datos del sensor	Voltaje	Distancia en pulgadas	Distancia en centímetros
12	0.06 v	6 pulgadas	15,24cm
50	0.25 v	25 pulgadas	63.5 cm
100	0.50 v	50 pulgadas	127 cm
150	0.75 v	75 pulgadas	190.5 cm
200	1 v	100 pulgadas	254 cm
250	1.25 v	125 pulgadas	317.5 cm
300	1.50v	150 pulgadas	381 cm
350	1.75 v	175 pulgadas	444.5 cm
400	2 v	200 pulgadas	508 cm
450	2.25 v	225 pulgadas	571.5 cm
508	2.54 v	254 pulgadas	645.16cm

Tabla 5.14 Datos para calibración

Fuente: Elaboración propia.

El sensor de ultrasonido se calibra con las ecuaciones (5.3) y (5.4):

$$\text{valor aproximado} \approx \frac{\text{datos del sensor}}{2} \quad (5.3)$$

$$\text{Distancia} = \text{valor aproximado} * 2.54 \quad (5.4)$$

Las anteriores fórmulas sirven para obtener medidas en centímetros a partir de los datos del sensor.

Aplicando las anteriores fórmulas, los datos que resultan del funcionamiento del sensor se dividen entre 2 para obtener las respectivas pulgadas. Luego para adquirir

las pulgadas exactas se toma el resultado anterior y se lo aproxima al valor más cercano.

Para trabajar en la programación con el sistema internacional de unidades se multiplican el valor obtenido anteriormente en pulgadas por 2,54 para transformar la medida en centímetros, tal como se observa en la última columna de la Tabla 5.14.

Para obtener el rango de error se obtuvieron varios datos comparando la distancia real con la distancia del sensor, estos datos se reflejan en la Tabla 5.15.

Distancia tomada	Distancia real (cm)	Distancia tomada sensor (cm)	% error
1	64	63	1.56
2	128	126	1.56
3	192	187	2.6
4	256	251	1.95
5	320	320	0
6	384	383	0.26
7	448	444	0.89
8	512	510	0.39
9	576	576	0
10	640	642	0.31
		Porcentaje de error promedio	0.95

Tabla 5.15 Datos para obtener el margen de error

Fuente: Elaboración propia.

De la anterior tabla se obtiene que el porcentaje de error promedio es del 0,95% este resultado es producto tanto del error humano como del sensor.

En el Gráfico 5.1 se observan los valores de distancia real en comparación con los valores tomados por el sensor de los que se puede decir que su diferencia es mínima.

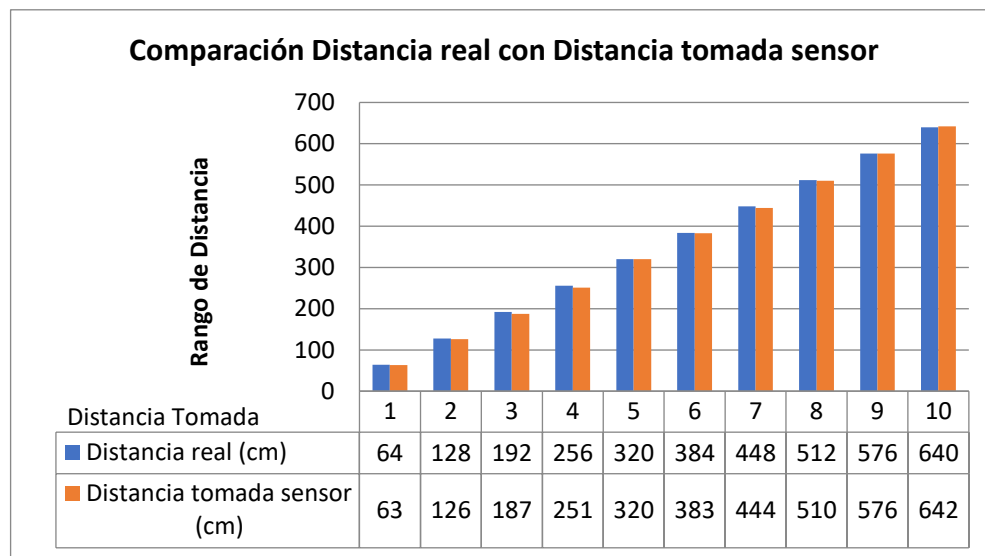


Gráfico 5.1 Comparación distancia real con distancia tomada por el sensor.

Fuente: Elaboración propia

El Gráfico 5.2 muestra el porcentaje de error existente entre la distancia real y la distancia que tomó el sensor en cada una de las medidas tomadas.

Aquí se observa que es un porcentaje mínimo y en algunos casos igual a 0, concluyendo el buen funcionamiento del sensor ultrasonido. Además, se observa que el porcentaje de error promedio de las 10 distancias tomadas es igual a 0,95%.

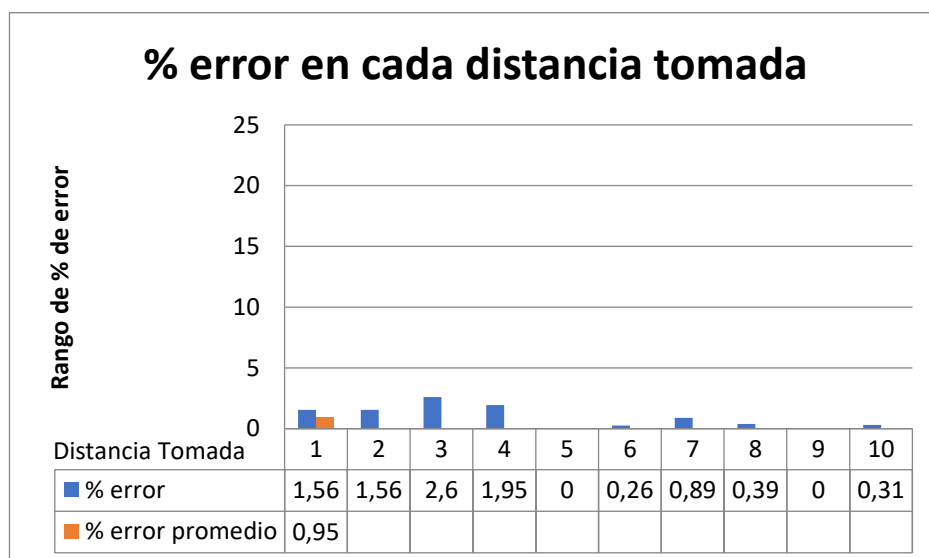


Gráfico 5.2 Porcentaje de error de cada distancia tomada.

Fuente: Elaboración propia.

En el Gráfico 5.3 se observa que D es la distancia del sensor al objeto, y los 60 cm corresponden al ancho de haz del sensor de ultrasonido. Se debe tener en cuenta que el ángulo de incidencia θ con valor de 63° es correspondiente a la medida mínima de 15,24 cm.

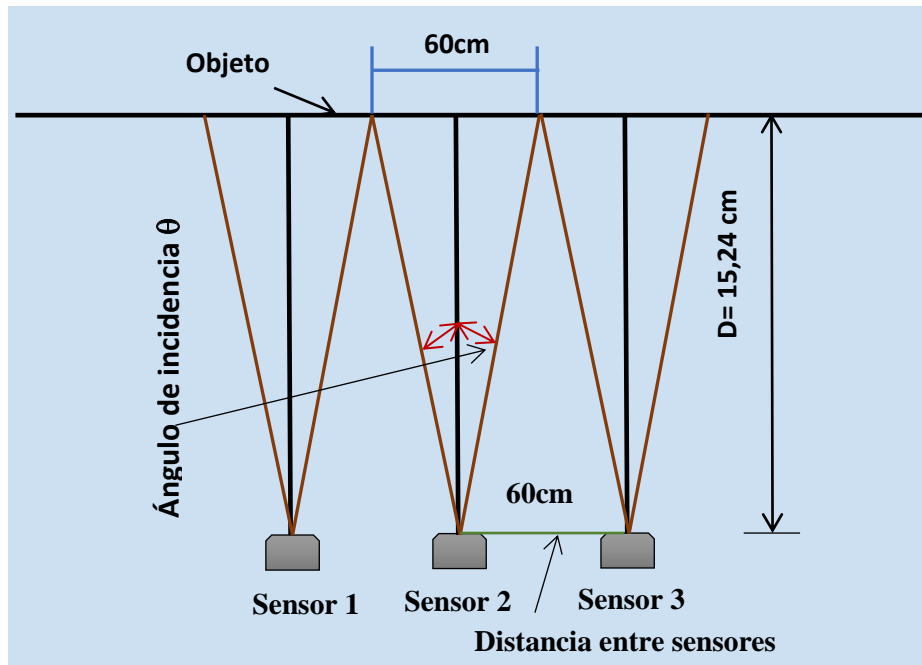


Gráfico 5.3 Ángulo de incidencia de los sensores.
Fuente: Elaboración propia

Teniendo en cuenta que los sensores de ultrasonido de referencia LV- Maxzonar EZ0 tienen su ancho de haz igual a 60cm con relación al ángulo de incidencia de 63° , se realiza transposición de triángulos y se obtiene la distancia entre sensores igual a 60 cm tal como se observa en el Gráfico 5.3, de esta manera se obtiene que el ancho del haz no interfiere entre ellos.

El montaje de los sensores mostrado en la Figura 5.22 presentan una distancia entre ellos de 7.5cm. No hay interferencia (*crosstalk*), están conectados para que cada sensor obtenga la información de la distancia de los objetos de forma secuencial, es decir el sensor 1 adquiere la información y se apaga para que el siguiente sensor adquiera la información y se apague de manera consecutiva. Gracias a lo anterior se pueden acercar los sensores a una distancia menor a 60cm permitiendo que estos funcionen correctamente.

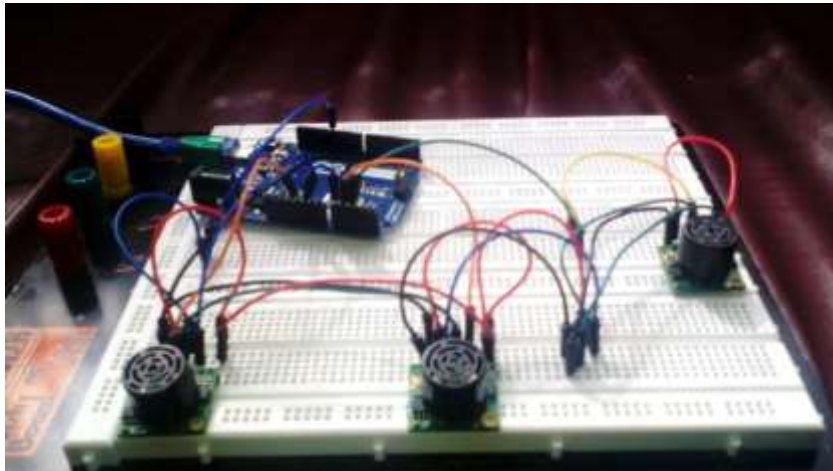


Figura 5.22 Montaje de los sensores.
Fuente: Elaboración propia

En el Gráfico 5.4 se observan los datos tomados por los tres sensores en distancia y tiempo, estas mediciones se realizaron de forma correcta gracias a que las frecuencias de los sensores no se cruzaron.

Las trayectorias son irregulares debido a que se experimentó con un objeto que se movía a través de los sensores.

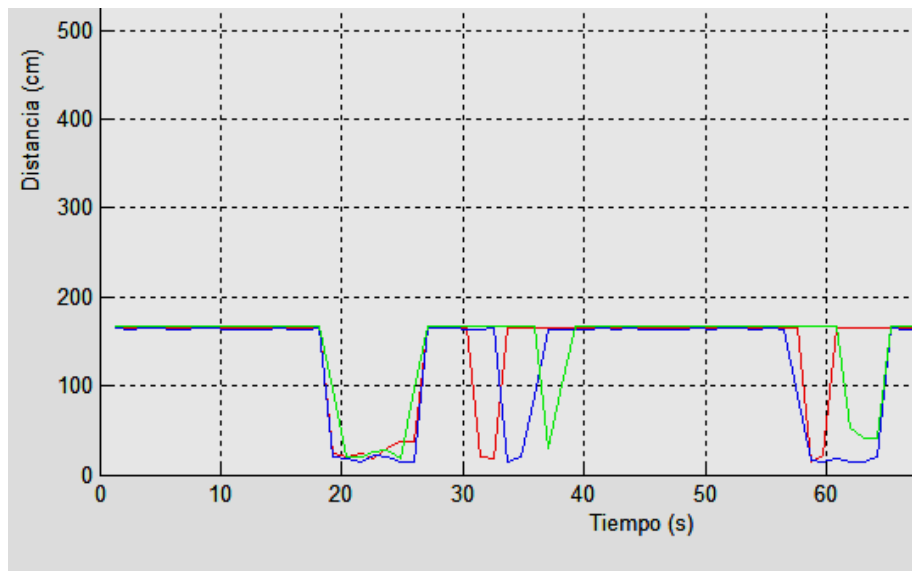


Gráfico 5.4 Distancia vs tiempo de los tres sensores.
Fuente: Elaboración propia.

Posteriormente se realizó un filtro basado en la moda, escogiendo el dato óptimo, de manera similar al utilizado en el dispositivo del bastón.

El filtro se encarga de entregar estadísticamente la moda de 9 datos de distancia y en caso de que se presente más de una moda el filtro entregará la media.

Teniendo la distancia y el tiempo en el que se obtiene esta variable, se puede calcular la velocidad media, según la ecuación (5.5).

$$V_m = \frac{\Delta Distancia}{\Delta Tiempo} \quad (5.5)$$

Donde V_m es la velocidad media, $\Delta Distancia$ es la distancia recorrida por un objeto y $\Delta Tiempo$ es el tiempo transcurrido.

5.3.2 Implementación de la red evolutiva

Después de la creación y entrenamiento de la red neuronal recurrente con el AGCC se realizaron pruebas con el dispositivo en diferentes escenarios de las cuales se descartaron porque no cumplían satisfactoriamente las condiciones de detección de objetos estáticos y en movimiento, detectando en ocasiones bajas velocidades o altas velocidades y activándose la detección de objetos estáticos en distancias muy cercanas al invidente o muy lejanas detectadas por Matlab, obteniendo cuatro redes neuronales óptimas para el software de funcionamiento, la primera para la detección de objetos en movimiento y las demás para objetos estáticos. En el Gráfico 5.5 se puede observar el total de cromosomas probados y elegidos.

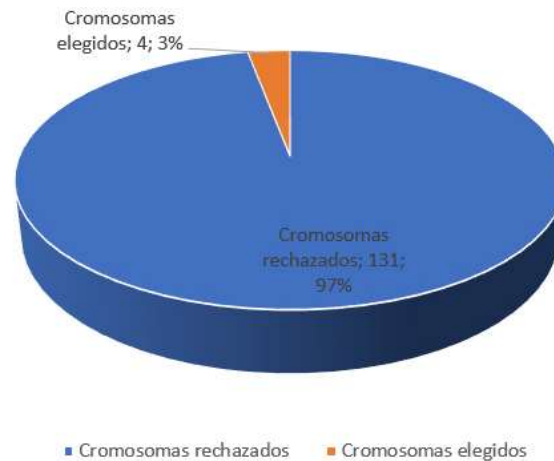


Gráfico 5.5 Cromosomas elegidos y rechazados.

Fuente: Elaboración propia.

La entrada de los datos de los sensores, son normalizados para ingresarlos a las redes neuronales evolutivas de la siguiente forma:

$$Dn = \pm ds/dsm \quad (5.6)$$

Donde Dn son los datos normalizados, ds los datos del sensor que pueden ser positivos o negativos, dsm es el dato del sensor máximo. El *fitness* solo evalúa los datos negativos para la detección de objetos en movimiento y los positivos para la detección de objetos estáticos.

El cromosoma generado en el diseño del software contiene toda la información necesaria para hacer la MDR, posteriormente la red neuronal evolutiva es ejecutada con los datos de los sensores.

La respuesta de la red neuronal es binaria para cada sensor, advirtiendo si existe o no peligro, en el caso de que detecte un objeto en movimiento o estático alertará al invidente a través del módulo de sonido que contiene los archivos de audio en mp3 como se muestra en la Tabla 5.16 y en la Tabla 5.17.

Objetos en movimiento			
Sonido de Advertencia	formato	Sensor	Ubicación
1A	0001.mp3	S1	Sensor arriba parte frontal.
1F	0002.mp3	S2	Sensor frente parte frontal.
1B	0003.mp3	S3	Sensor abajo parte frontal.
1I	0004.mp3	S4	Sensor derecha parte frontal.
1D	0005.mp3	S5	Sensor izquierda parte frontal.
2A	0006.mp3	S6	Sensor arriba parte posterior.
2P	0007.mp3	S7	Sensor frente parte posterior.
2B	0008.mp3	S8	Sensor abajo parte posterior.
2I	0009.mp3	S9	Sensor derecha parte posterior.
2D	0010.mp3	S10	Sensor izquierda parte posterior.

Tabla 5.16 Información de audio para objetos en movimiento.

Fuente: Elaboración propia.

Objetos estáticos			
Sonido de Advertencia	Formato	Sensor	Ubicación
Arriba	0011.mp3	S1	Sensor arriba parte frontal.
Frente	0012.mp3	S2	Sensor frente parte frontal.
Abajo	0013.mp3	S3	Sensor abajo parte frontal.
Izquierda	0014.mp3	S4	Sensor derecha parte frontal.
Derecha	0015.mp3	S5	Sensor izquierda parte frontal.

Tabla 5.17 Información de audio para objetos estáticos.

Fuente: Elaboración propia.

La enumeración del formato está dada de manera que facilite el llamado de sonido de advertencia en el código de programación, así cuando la red neuronal detecte un objeto en movimiento proveniente de S7 la activación dada por la red neuronal, se comunicará con el módulo de sonido con la siguiente línea de comando:

```
myDFPlayer.play(7);
```

El módulo de sonido reproduce el sonido 0007.mp3 a través de un auricular para alertar al invidente.

5.4 Funcionamiento del algoritmo genético cooperativo coevolutivo y de la red neuronal recurrente.

El algoritmo genético crea y prueba diferentes redes neuronales artificiales a partir del problema a resolver, el número de especies define el número de entradas de las redes neuronales artificiales, se crean redes neuronales y se seleccionan de acuerdo con el fitness los cromosomas que representan dichas redes para luego ser cruzados, mutados, y posteriormente se aplica la cooperatividad encontrando los cromosomas para crear la red neuronal final y solucionar la detección de objetos estáticos y en movimiento. En la Figura 5.23 se muestra el funcionamiento del algoritmo genético cooperativo coevolutivo.

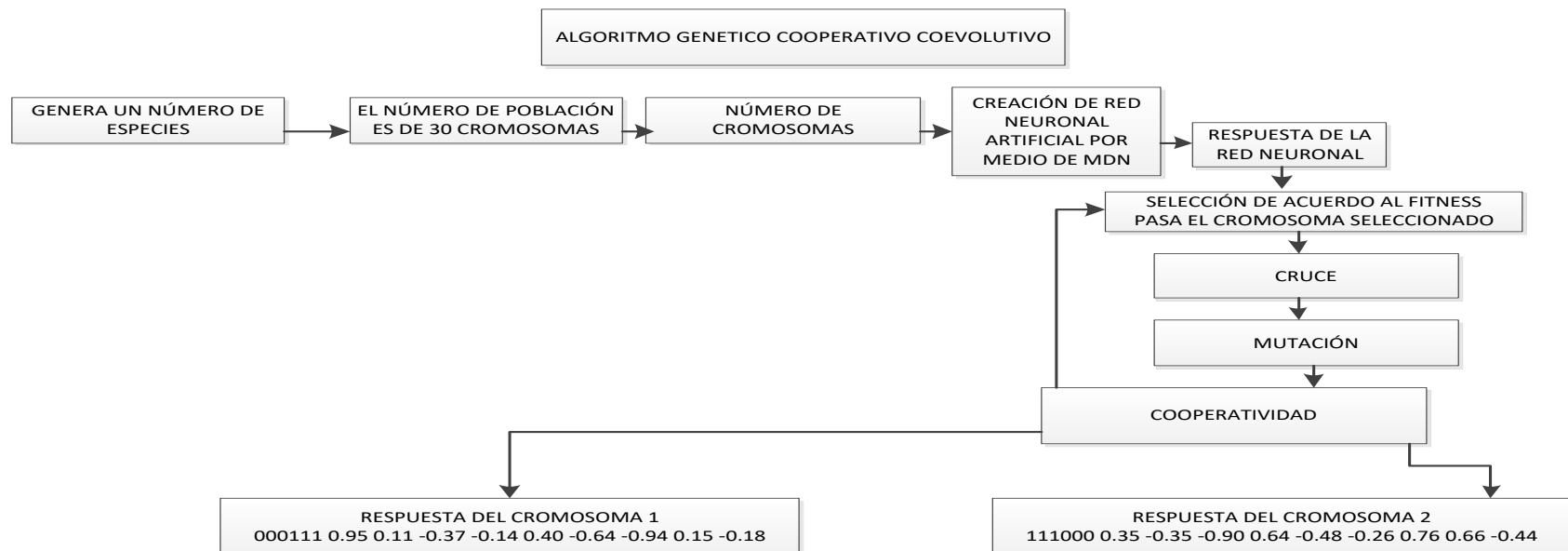


Figura 5.23 Funcionamiento del algoritmo genético cooperativo coevolutivo.

Fuente: Elaboración propia.

La red neuronal recurrente se alimenta con los datos de los sensores de ultrasonido, el fitness se conserva para ser parte de la red neuronal recurrente y garantiza las condiciones de búsqueda en la detección de objetos en movimiento y estáticos. A continuación se indica la Figura 5.24 en el que se observa el funcionamiento de la red neuronal recurrente.

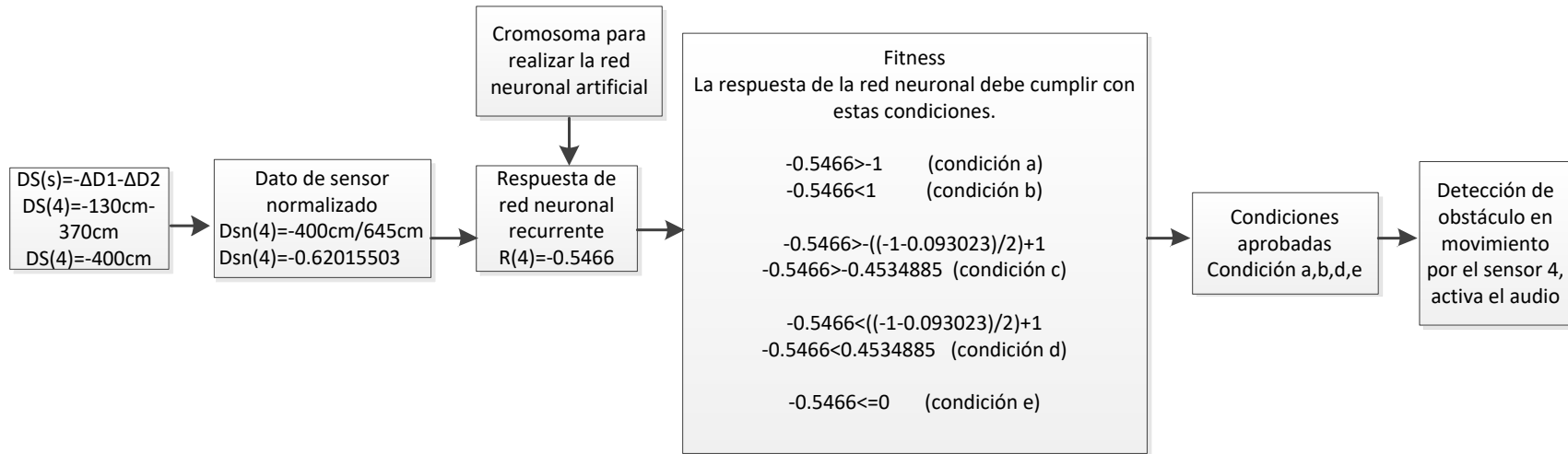


Figura 5.24 Funcionamiento de la red neuronal recurrente.

Fuente: Elaboración propia.

$\Delta D1$ y $\Delta D2$ son cambios en distancia negativos debido a que un objeto se aproxima, $DS(4)$ es la suma de $\Delta D1$ y $\Delta D2$ del sensor 4 ubicado en la izquierda del chaleco con una distancia de -400cm, y luego es normalizado al dividirlo entre 645 que es el rango máximo del sensor, este dato ingresa a la capa de entrada de la red neuronal recurrente y la salida de la red neuronal recurrente tiene que pasar por el fitness para garantizar las condiciones de búsqueda, en este caso se aprobaron las condiciones *a* y *b* por su material genético, la condición *c* no se aprueba por qué no está entre el rango de 0 a 352 cm, la condición *d* es aprobada por que la distancia es de -400cm ubicado en el rango de -353cm al -645cm y la condición *e* es aprobada por tener valor negativo.

Capítulo 6.

Pruebas de funcionamiento

6.1 Pruebas en escenarios parte estática

Objetivo: Verificar y evaluar el funcionamiento del sistema anticolidión en la detección de objetos estáticos en un ambiente interno con la red neuronal evolutiva, realizando el análisis de la distancia real tomada por un metro y la medida dada por el sensor.

Escenarios: Se consideraron 4 escenarios distintos, el primero es la habitación de una vivienda, los escenarios 2 y 3 en el primer piso en una sala, cada uno con diferentes objetos, y el ultimo escenario realizado en un salón con unas cajas, estas pruebas se tomaron con los sensores de la parte frontal debido a que ellos son los que detectan la parte estática.

6.1.1 Escenario 1, habitación.

El primer escenario es la habitación de una vivienda en donde se ubican objetos en el recorrido. Ver Figura 6.1.

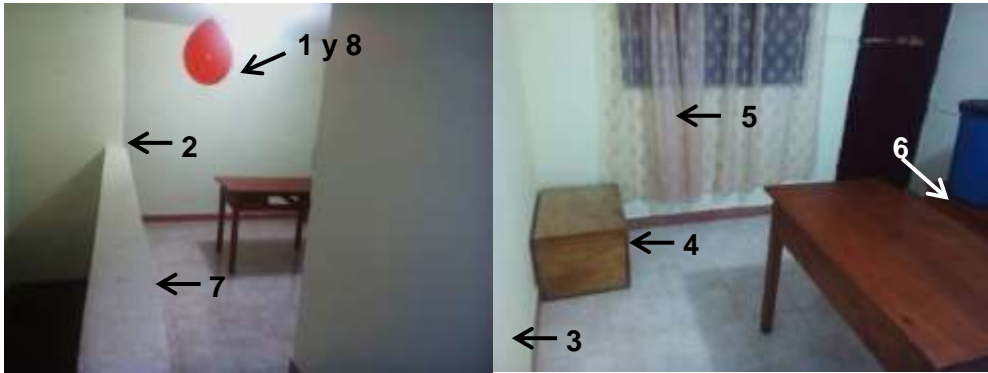


Figura 6.1 Escenario 1
Fuente: Elaboración propia.

Los objetos de este escenario son:

1. Bomba suspendida en el techo.
2. Columna
3. Pared
4. Baúl en el piso
5. Ventana
6. Baúl y canasta
7. Pasamanos
8. Bomba suspendida en el techo.

Una vez realizado el recorrido se procede a realizar el análisis de los datos. Ver Tabla 6.1 y Tabla 6.2, en las cuales se puede observar el sensor que detecta el objeto en cada evento de detección, el tiempo en el que fue detectado el objeto, la distancia dada por el sensor con la red neuronal evolutiva y la medida real.

Sensor	Evento de detección de objeto	Descripción	Tiempo (s)	Medida dada por el sensor con RNAE (cm)	Medida real(cm)
S1	1	Bomba suspendida en el techo.	10	39	37
S4	2	Columna	19	35	33
S2	3	Pared	22	28	26
S3	4	Baúl en el piso	36	51	63
S2	5	Ventana	41	18	16
S3	6	Baúl y canasta	56	44	56
S3	7	Pasamanos	67	21	33
S1	8	Bomba suspendida en el techo.	73	35	32

Tabla 6.1 Datos obtenidos en el escenario 1, habitación.

Fuente: Elaboración propia.

Sensor	Posición en el chaleco
S1	Arriba
S2	Frente
S3	Abajo
S4	Izquierda
S5	Derecha

Tabla 6.2 Posición de los sensores en el chaleco.

Fuente: Elaboración propia.

En el Gráfico 6.1 se observa la comparación de los datos obtenidos en el escenario 1.

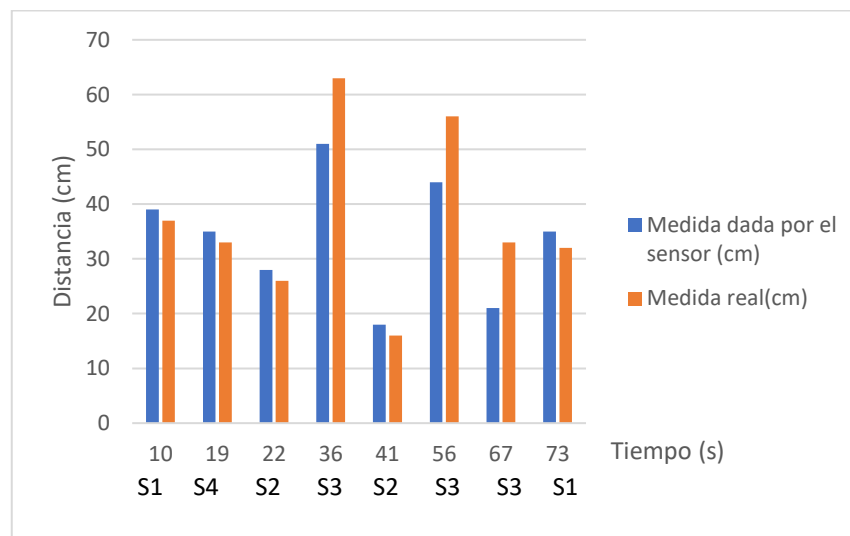


Gráfico 6.1 Comparación de las medidas dadas por el sensor con RNAE y las medidas reales, para el escenario 1

Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 6.2 muestra la distancia real tomada con un metro de la bomba detectada.



Figura 6.2 Bomba suspendida en el techo (medida real).
Fuente: Elaboración propia.

6.1.2 Escenario 2, sala

El segundo escenario es la sala de una vivienda, además de los objetos propios de la misma se ubicaron otros objetos. Ver Figura 6.3.

Los objetos de este escenario son:

1. Mesa mediana.
2. Silla 1
3. Columna
4. Silla 2
5. Mueble
6. Silla 3
7. Televisor
8. Equipo de sonido
9. Silla 4
10. Gradadas



Figura 6.3 Escenario 2, sala.

Fuente: Elaboración propia.

Al igual que en el anterior escenario se realizó el análisis en la Tabla 6.3.

Sensor	Evento de detección de objeto	Descripción	Tiempo (s)	Medida dada por el sensor con RNAE (cm)	Medida real(cm)
S3	1	Mesa mediana	9	14	26
S5	2	Silla 1	15	29	27
S2	3	Columna	15	35	32
S5	4	Silla 2	48	25	23
S3	5	Mueble	80	48	60
S2	6	Silla 3	107	28	26
S2	7	Televisor	118	50	48
S4	8	Equipo de sonido	137	35	32
S3	9	Silla 4	155	40	52
S3	10	Gradas	166	68	80

Tabla 6.3. Datos obtenidos en el escenario 2, sala.

Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla 6.3 se puede observar el sensor que detecta el objeto en cada evento de detección, el tiempo en el que fue detectado el objeto, la distancia dada por el sensor con la red neuronal evolutiva y la medida real, para el escenario 2.

El gráfico estadístico de estos datos se presenta a continuación,

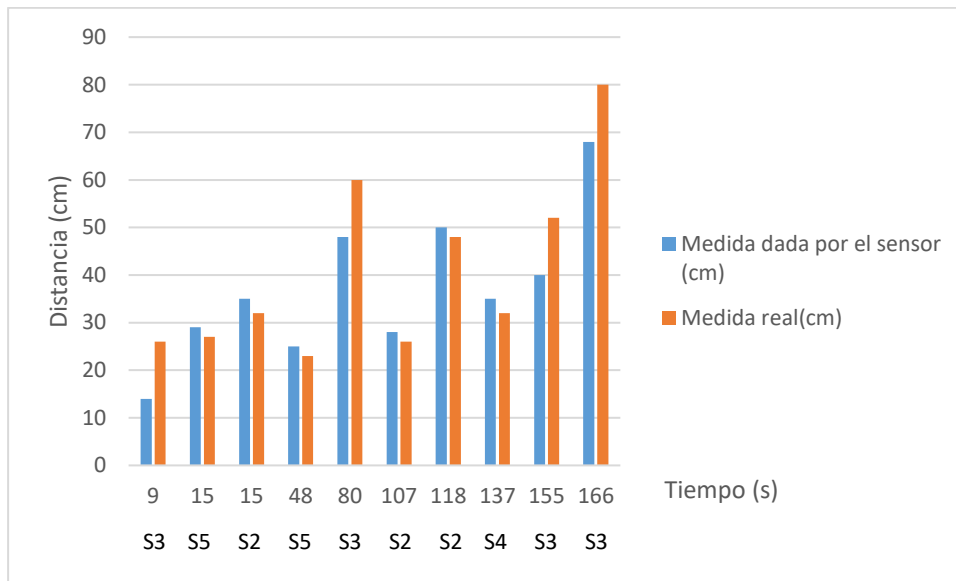


Gráfico 6.2 Comparación de las medidas dadas por el sensor con la RNAE y las medidas reales, para el escenario 2

Fuente: Elaboración propia



Figura 6.4 Mesa mediana (medida real).

Fuente: Elaboración propia.

6.1.3 Escenario 3, sala con objetos en diferente posición

Este escenario se realizó en la misma sala con la diferencia que los objetos fueron cambiados de posición obteniéndose diferencias en la detección. Ver Figura 6.5.



Figura 6.5 Escenario 3 sala con objetos en diferente posición.
Fuente: Elaboración propia.

Los objetos de este escenario son:

1. Silla 1
2. Mesa mediana
3. Mueble
4. Silla 2
5. Silla 3

Al igual que los anteriores escenarios se realizó análisis con tablas estadísticas. Ver Tabla 6.4.

sensor	evento de detección de objeto	Descripción	Tiempo (s)	Medida dada por el sensor con RNAE (cm)	medida real (cm)
S4	1	Silla 1	18	44	42
S3	2	Mesa mediana	42	26	38
S3	3	Mueble	55	47	59
S2	4	Silla 2	71	48	46
S2	5	Silla 3	91	28	26

Tabla 6.4. Datos obtenidos en el escenario 3, sala con objetos en diferente posición

Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla 6.4 se puede observar el sensor que detecta el objeto en cada evento de detección, el tiempo en el que fue detectado el objeto, la distancia dada por el sensor y la medida real, para el escenario 3.

El gráfico estadístico de este escenario se muestra a continuación,

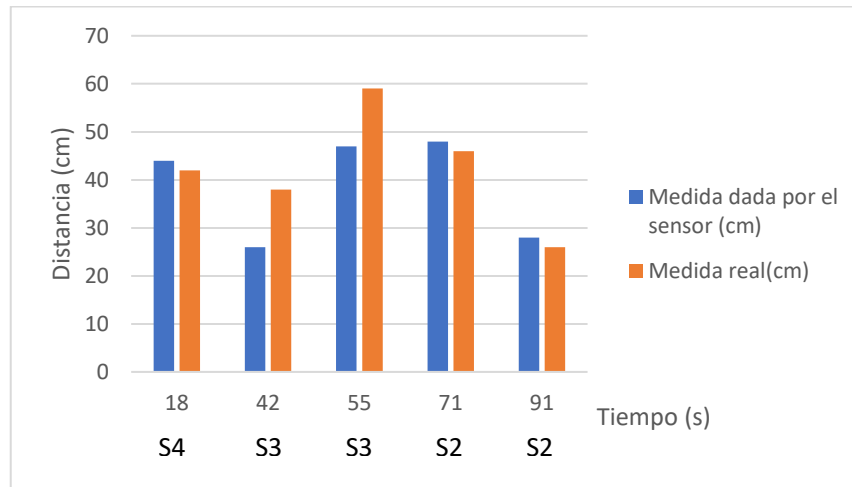


Gráfico 6.3 Comparación de las medidas dadas por el sensor con RNAE y las medidas reales, para el escenario 3

Fuente: Elaboración propia

En la Figura 6.6 se muestra la distancia real de la silla 1.



Figura 6.6 Silla 1 (medida real).

Fuente: Elaboración propia.

6.1.4 Escenario 4, escenario realizado con cajas.

En este escenario se realizó la prueba con 10 personas de las cuales las 5 primeras son invidentes, en la tabla 6.5 se muestra más información. Quienes se desplazaron por un escenario desconocido para ellas, en el cual se ubicaron obstáculos (cajas), previamente dispuestas, para que se desplazarán una a una, haciendo uso del sistema.

En la figura 6.7 se muestra el escenario planteado con sus respectivas trayectorias.

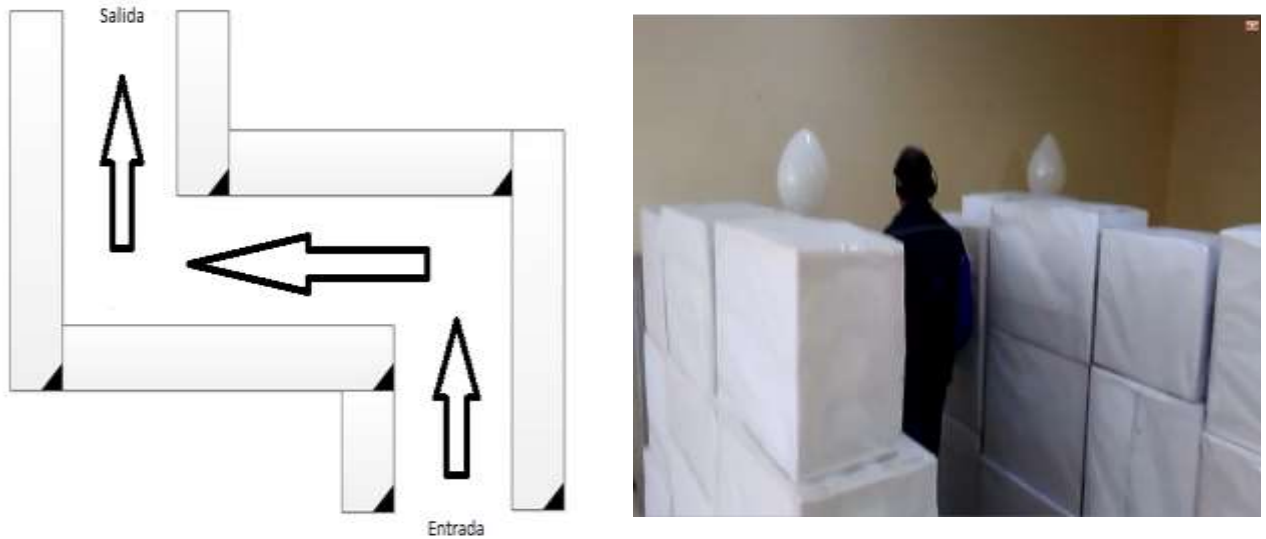


Figura 6.7 Escenario realizado con cajas.

Fuente: Elaboración propia

Los participantes en el escenario se clasifican teniendo en cuenta su edad y su sexo, haciendo énfasis en que los primeros 5 son invidentes los cuales están relacionados en la siguiente tabla:

Participante	Sexo	Edad
1	Femenino	33
2	Femenino	41
3	Femenino	34
4	Masculino	39
5	Masculino	45
6	Masculino	30
7	Masculino	14
8	Femenino	47
9	Femenino	14
10	Femenino	35

Tabla 6.5 Sexo y edad de los participantes.

Fuente: Elaboración propia

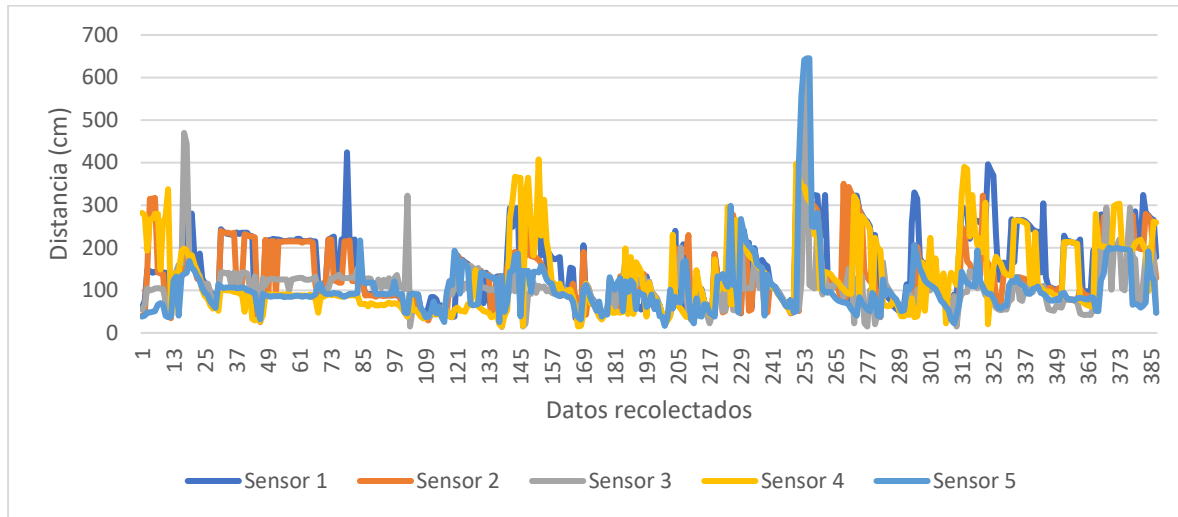


Gráfico 6.4 Datos de los sensores del recorrido del invidente N°1
Fuente: Elaboración propia

En el Gráfico 6.4 se puede observar que el sistema le advirtió al invidente número 1, acerca del primer obstáculo en el dato 23, en el rango de 23 a 100 se desplazó por la primera recta, de 100 a 144 hizo un giro a la derecha, de 144 a 188 realizó un giro a la izquierda, entre 199 y 265 avanzó por la segunda recta, de 276 a 331 giró su cuerpo, de 342 a 386 se dirigió por la última recta.

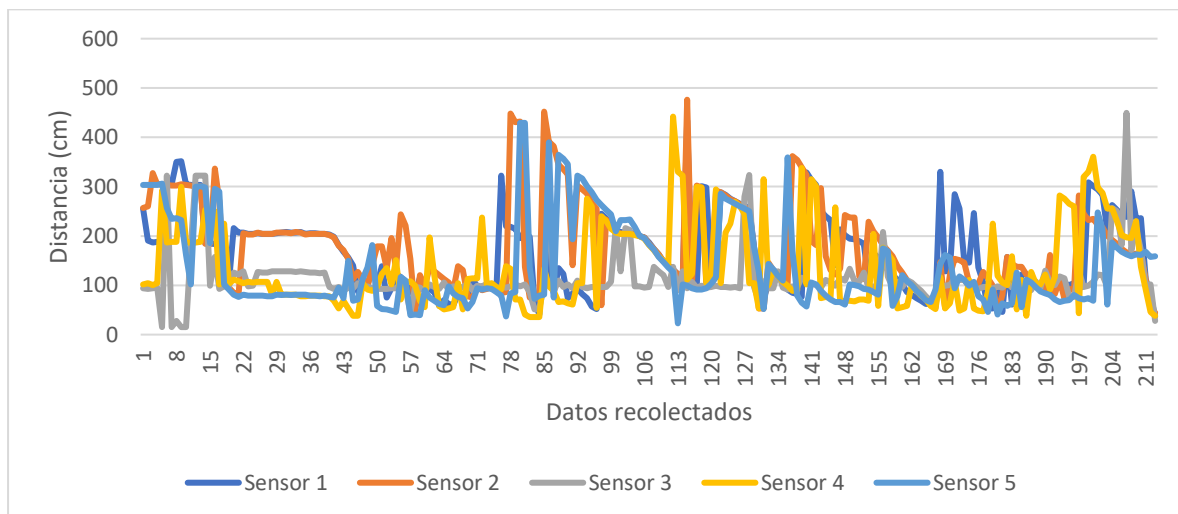


Gráfico 6.5 Datos de los sensores del recorrido del invidente N°2
Fuente: Elaboración propia

En el Gráfico 6.5 se puede apreciar que el sistema le advirtió al invidente número 2, acerca del primer obstáculo en el dato 19, en el rango de 19 a 73 caminó por la primera recta, de 79 a 97 hizo un giro a la izquierda, entre 97 y 157 se movió por la segunda recta, de 157 a 193 giró su cuerpo, de 193 a 211 se desplazó por la última recta.

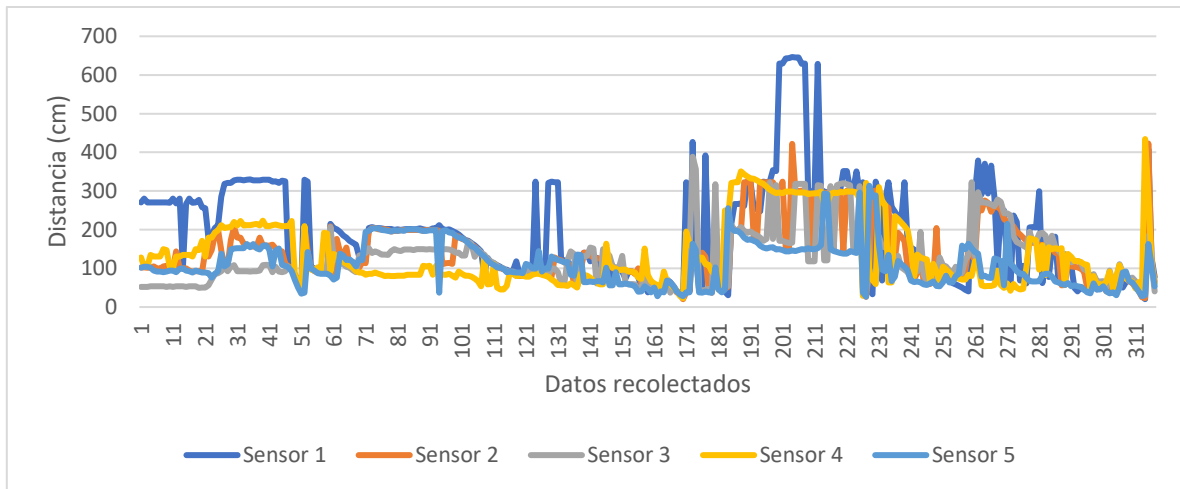


Gráfico 6.6 Datos de los sensores del recorrido del invidente N°3
Fuente: Elaboración propia

En el Gráfico 6.6 se puede ver que el sistema le advirtió al invidente número 3, acerca del primer obstáculo en el dato 1, en el rango de 1 a 46 avanzó por la primera recta, de 46 a 64 hizo un giro a la izquierda, entre 64 y 172 se dirigió por la segunda recta, de 172 a 226 giró su cuerpo, de 226 a 316 caminó por la última recta.

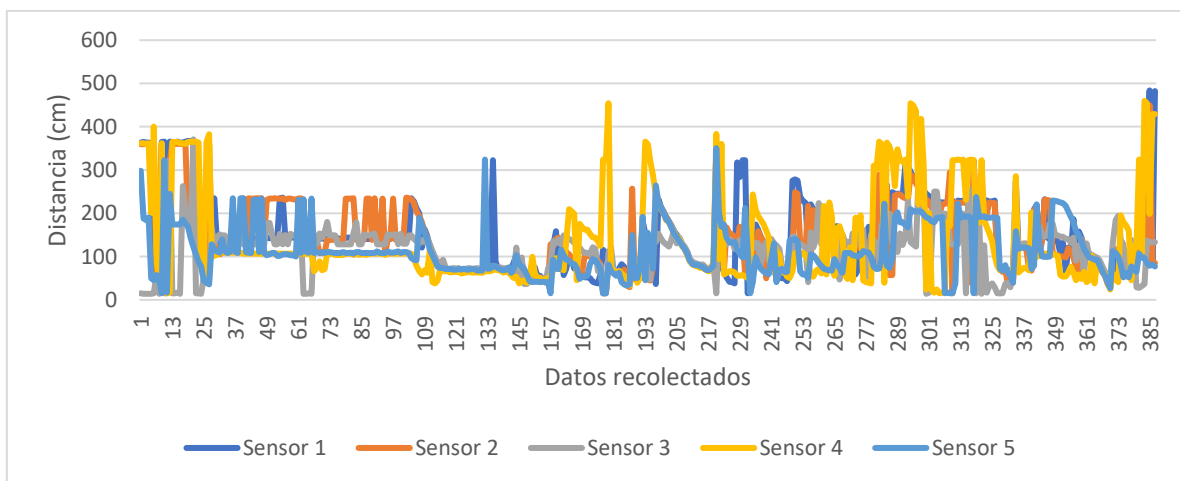


Gráfico 6.7 Datos de los sensores del recorrido del invidente N°4
Fuente: Elaboración propia

En el Gráfico 6.7 se puede deducir que el sistema le advirtió al invidente número 4, acerca del primer obstáculo en los datos 1 a 23, en el rango de 34 a 155 se movió por la primera recta, de 155 a 199 hizo un giro a la izquierda, entre 199 y 289 se desplazó por la segunda recta, de 289 a 331 giró su cuerpo, de 331 a 386 avanzó por la última recta.

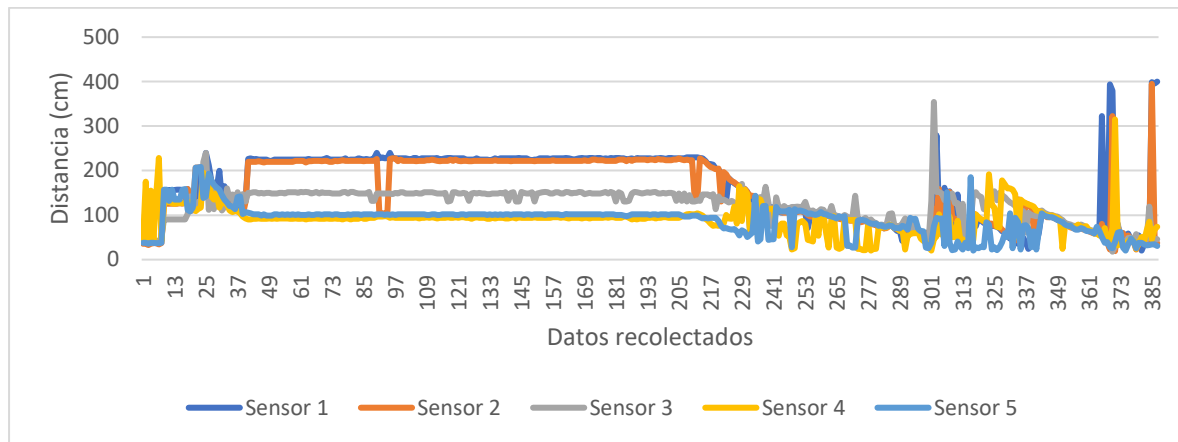


Gráfico 6.8 Datos de los sensores del recorrido del invidente N°5
Fuente: Elaboración propia

En el Gráfico 6.8 se puede afirmar que el sistema le advirtió al invidente número 5, acerca del primer obstáculo en los datos 1 a 12, en el rango de 45 a 210 se dirigió por la primera recta, de 210 a 232 hizo un giro a la izquierda, entre 232 y 331 caminó por la segunda recta, de 331 a 342 giró su cuerpo, de 342 a 386 se movió por la última recta.

En los gráficos anteriores, en las que participaron los cinco invidentes, se observa que se acercaron a los diferentes obstáculos teniendo en cuenta la información proporcionada por el sistema. Los rangos cambian de una persona a otra debido a que todos los participantes se desplazaron a diferentes velocidades.

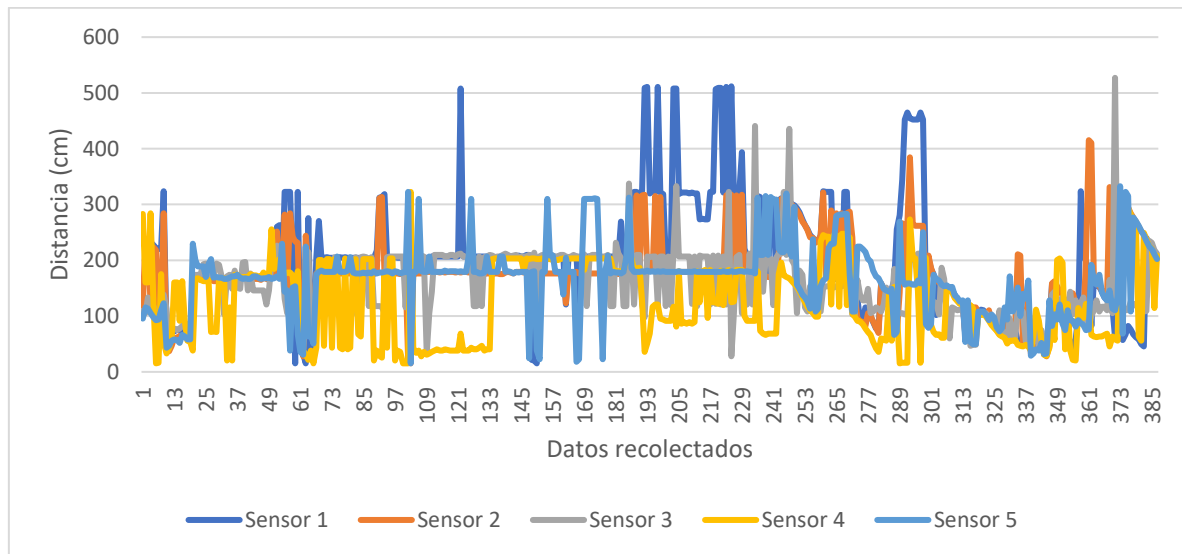


Gráfico 6.9 Datos de los sensores del recorrido del participante N°6
Fuente: Elaboración propia

En el Gráfico 6.9 se puede observar que el sistema le advirtió al participante número 6, acerca del primer obstáculo en los datos 1 a 23, en el rango de 23 a 56 avanzó por la primera recta, de 56 a 133 realizó un giro, entre 133 y 221 se dirigió por la segunda recta, de 221 a 289 giró su cuerpo, de 289 a 386 caminó por la última recta.

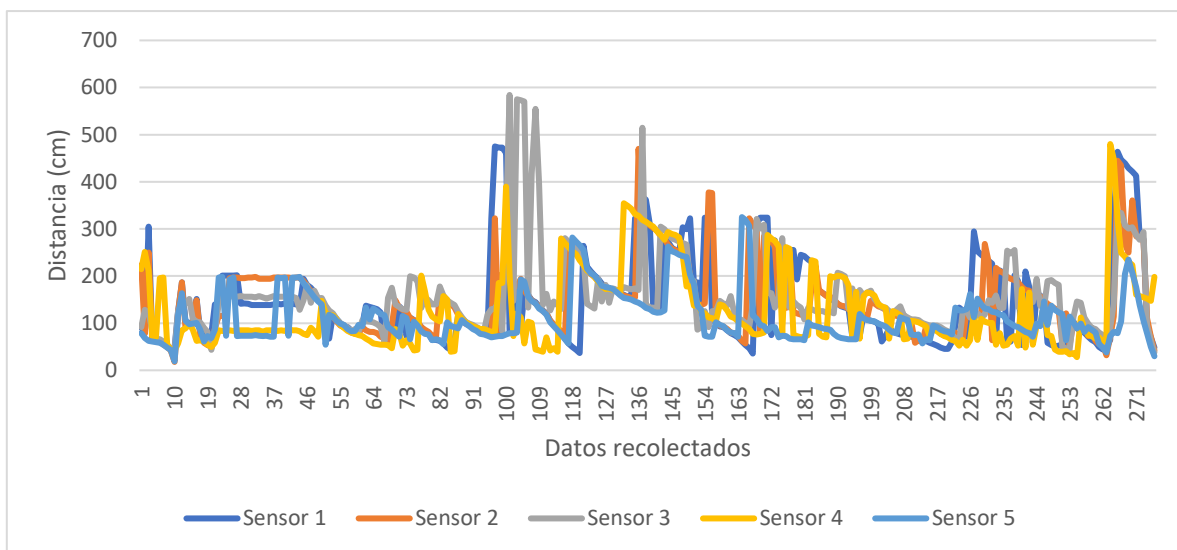


Gráfico 6.10 Datos de los sensores del recorrido del participante N°7
Fuente: Elaboración propia

En el Gráfico 6.10 se puede afirmar que el sistema le advirtió al participante número 7, acerca del primer obstáculo en el dato 9, en el rango de 9 a 97 se movió por la primera recta, de 97 a 113 hizo un giro a la izquierda, entre 121 y 225 se desplazó por la segunda recta, de 225 a 257 giró su cuerpo, de 257 a 273 avanzó por la última recta.

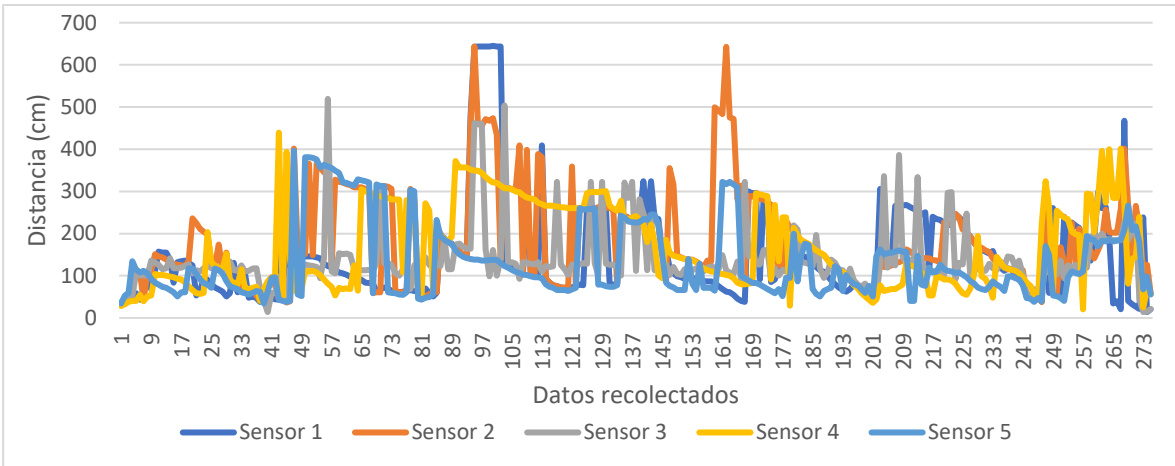


Gráfico 6.11 Datos de los sensores del recorrido del participante N°8

Fuente: Elaboración propia

En el Gráfico 6.11 se puede ver que el sistema le advirtió al participante número 8, acerca del primer obstáculo en los datos 1 a 41, en el rango de 41 a 81 se dirigió por la primera recta, de 81 a 153 hizo un giro a la izquierda, entre 153 y 193 caminó por la segunda recta, de 201 a 241 giró su cuerpo, de 241 a 273 se movió por la última recta.

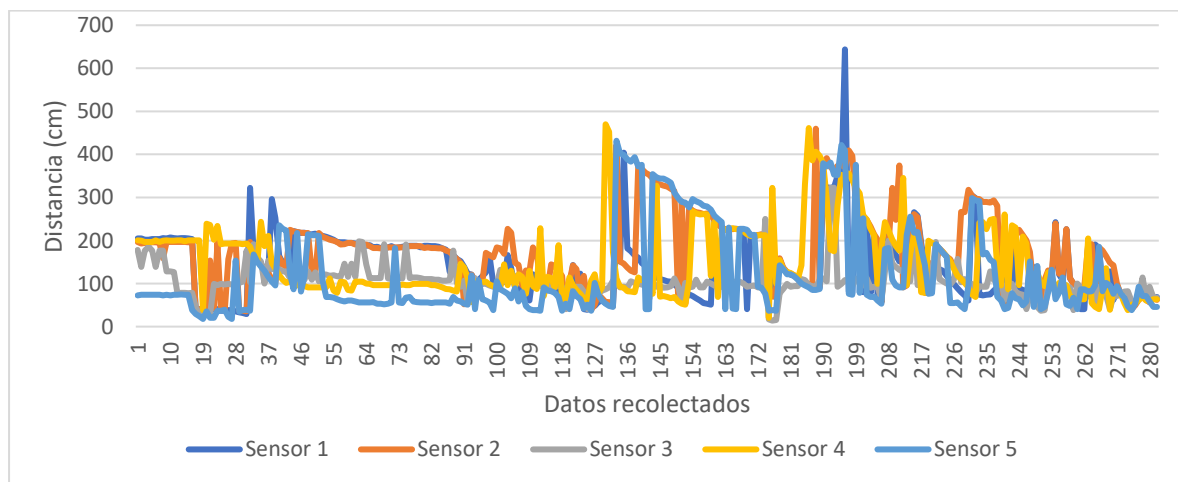


Gráfico 6.12 Datos de los sensores del recorrido del participante N°9

Fuente: Elaboración propia

En el Gráfico 6.12 se puede apreciar que el sistema le advirtió al participante número 9, acerca del primer obstáculo en los datos 1 a 33, en el rango de 33 a 129 se desplazó por la primera recta, de 129 a 177 hizo un giro a la izquierda, entre 185 y 225 avanzó por la segunda recta, de 225 a 241 giró su cuerpo, de 241 a 381 se dirigió por la última recta.

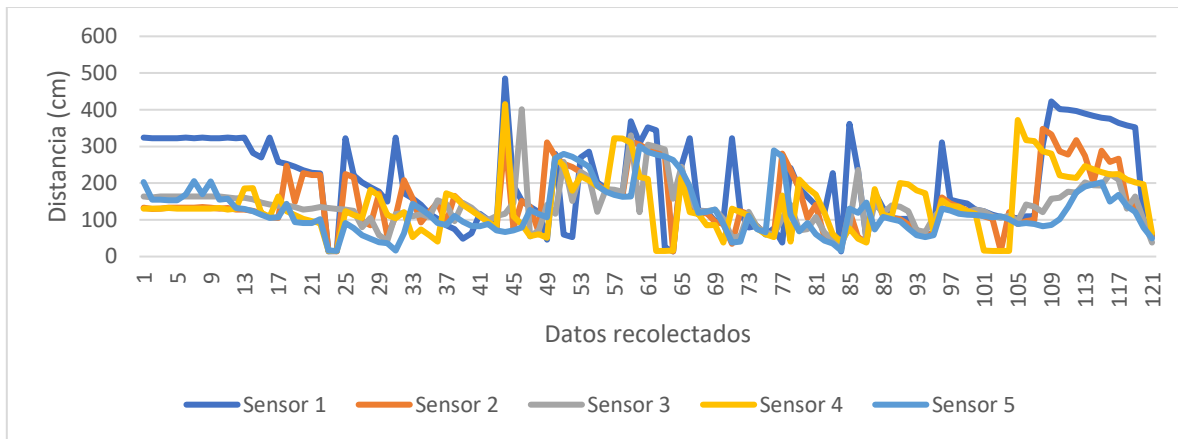


Gráfico 6.13 Datos de los sensores del recorrido del participante N°10
Fuente: Elaboración propia

En el Gráfico 6.13 se puede deducir que el sistema le advirtió al participante número 10, acerca del primer obstáculo en los datos 1 a 25, en el rango de 25 a 41 caminó por la primera recta, de 41 a 65 hizo un giro a la izquierda, entre 65 y 101 se movió por la segunda recta, de 101 a 105 giró su cuerpo, de 105 a 121 se desplazó por la última recta.

En las figuras anteriores en las que participaron personas que si pueden ver, se observa que se acercaron a los diferentes obstáculos teniendo en cuenta la información proporcionada por el sistema. Los rangos cambian de una persona a otra debido a que todos los participantes se desplazan a diferentes velocidades, además cabe destacar que algunas de las personas al colocarse el antifaz negro, el cual les impedía completamente la visión y al no conocer el recorrido, sintieron inseguridad.

A continuación, en la Tabla 6.6 y en la Tabla 6.7 se muestran respectivamente los resultados obtenidos por los invidentes y los participantes con el indicador estadístico.

	Participante 1	Participante 2	Participante 3	Participante 4	Participante 5
Cuartil 1a	71,12	91,44	78,74	71,12	81,28
Cuartil 2a	102,87	110,49	111,76	110,49	100,33
Cuartil 3a	156,21	201,93	191,77	154,30	148,59

Tabla 6.6 Cuartiles del resultado de los invidentes

Fuente: Elaboración propia

	Participante 6	Participante 7	Participante 8	Participante 9	Participante 10
Cuartil 1b	107,95	81,28	80,01	78,74	95,25
Cuartil 2b	175,26	115,57	123,19	109,22	130,81
Cuartil 3b	204,47	165,1	200,66	190,5	193,04

Tabla 6.7 Cuartiles del resultado de los participantes

Fuente: Elaboración propia

A continuación, se muestran las gráficas obtenidas por el indicador estadístico.

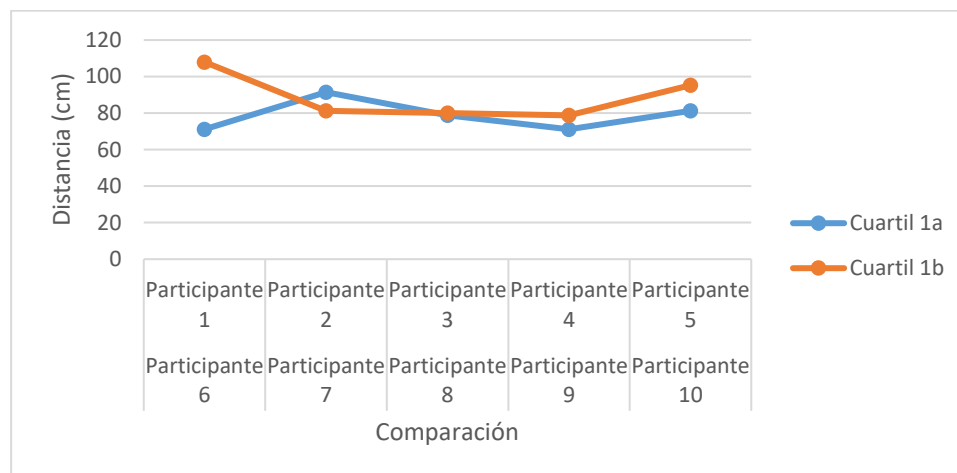


Gráfico 6.14 Cuartil 1

Fuente: Elaboración propia.

En el Gráfico 6.14 se puede observar que los invidentes se acercan más a los obstáculos debido al uso del bastón y se complementa con el sistema anticolidión. Mientras que los participantes que no usan bastón confían en el dispositivo y se observa que los mantiene a una distancia similar al del bastón.

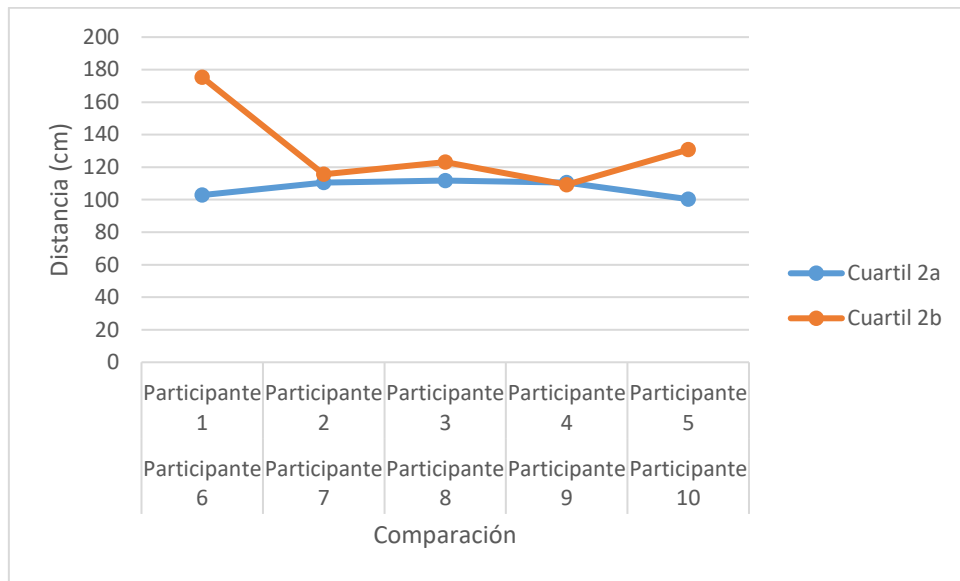


Gráfico 6.15 Cuartil 2
Fuente: Elaboración propia.

En el Gráfico 6.15 los incidentes en la mayor parte del recorrido estuvieron a una distancia de 100 cm a 120 cm de los objetos, mientras que los participantes estuvieron a una distancia de 100 cm a 180 cm de los objetos.

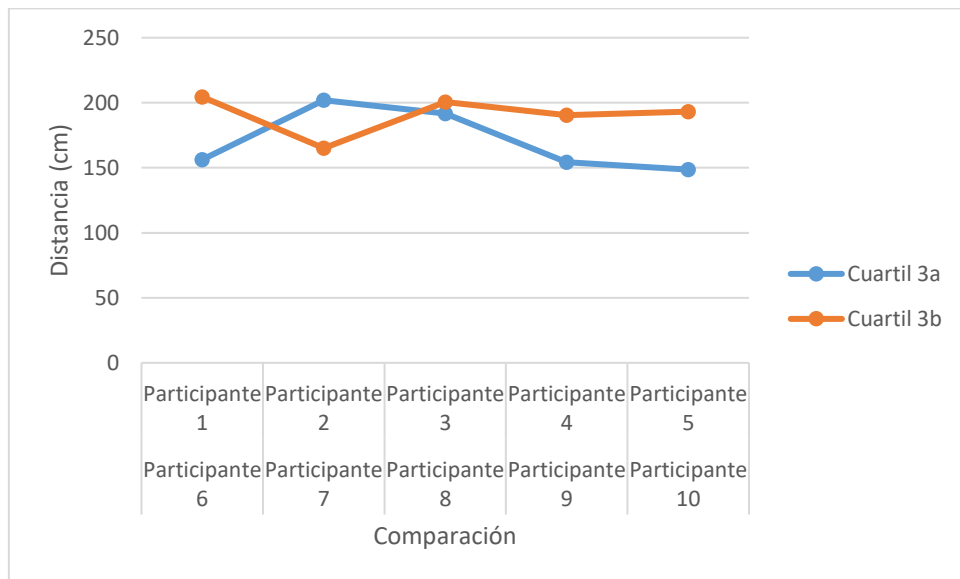


Gráfico 6.16 Cuartil 3
Fuente: Elaboración propia.

En el Gráfico 6.16 se muestra que tanto los invidentes como los participantes se alejaron de los objetos entre 150 cm a 200 cm siendo similar al uso del bastón.

A continuación, se muestra la encuesta realizada después del laboratorio.



UNIVERSIDAD DEL CAUCA

Facultad de Ingeniería Electrónica y Telecomunicaciones

Maestría en Automática

Fecha: 16 de marzo de 2018

Encuesta del funcionamiento del Sistema Anticolisión para Invidentes.

Respetuosamente le solicitamos diligenciar la presente encuesta, la cual es de carácter estrictamente investigativo.

Objetivo: Obtener información del funcionamiento del Sistema Anticolisión para Invidentes.

1. ¿El Sistema Anticolisión para Invidentes avisó oportunamente la presencia de obstáculos?
Si___ No___
2. ¿Se sintió seguro al usar el dispositivo?
Si___ No___
3. ¿Usted recomendaría este dispositivo a otra persona?
Si___ No___
4. ¿Se sintió cómodo al usar el dispositivo?
Si___ No___
5. Para los invidentes, ¿Tiene inconvenientes con el uso del bastón?
Si___ No___
6. ¿Es conveniente lanzar al mercado este dispositivo, para que las personas se beneficien del producto?
Si___ No___

Gracias por su colaboración.

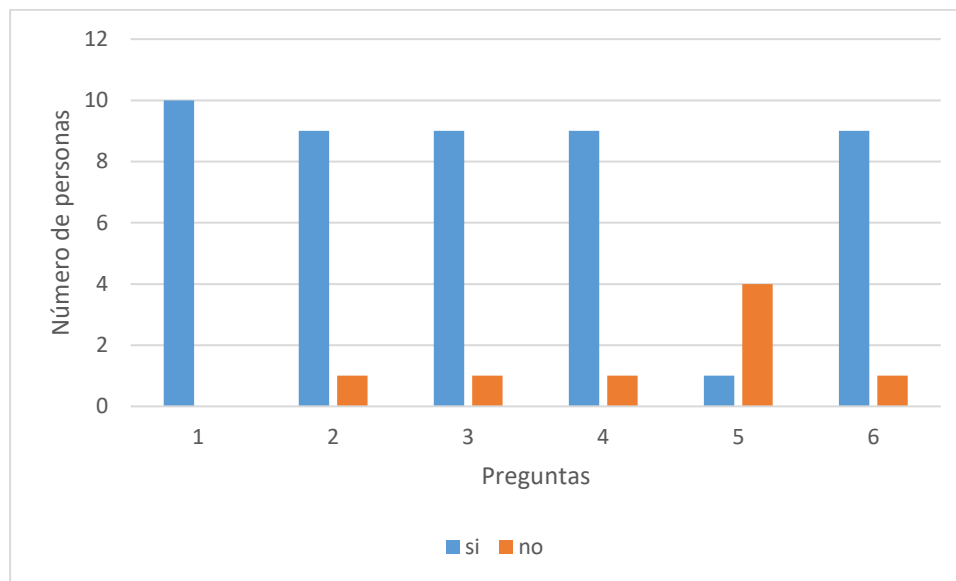


Gráfico 6.17 Datos estadísticos de la encuesta.

Fuente: Elaboración propia

En el Gráfico 6.17 se puede observar que la respuesta a la primera pregunta: ¿El sistema anticolidión para invidentes avisó oportunamente la presencia de obstáculos? los 10 participantes tanto invidentes como normales cuyo rango de edad oscilan entre 14 años y 47 años contestaron positivamente demostrando la efectividad del dispositivo.

En la segunda pregunta: ¿Se sintió seguro al usar el dispositivo? solo el participante número 3 de 34 años invidente de sexo femenino presento inseguridad cuando usó el dispositivo, debido a que colocó el bastón frente al chaleco interfiriendo con los sensores. Por lo que se procedió a realizar la prueba sin el bastón. Los 9 participantes se sintieron muy satisfechos por la seguridad que les brindó el chaleco al detectar los objetos que se encontraban cerca de ellos.

En la tercera pregunta: ¿Usted recomendaría este dispositivo a otra persona? los invidentes 1,3,4 y 5 manifestaron que se sentían más seguros con el chaleco, porque éste detectaba más obstáculos que el bastón. El participante número 2 invidente de sexo femenino de 41 años de edad, no lo recomienda porque afirma que es muy pesado. Los participantes del 6 al 10 dijeron que si recomendarían el dispositivo porque les brindaba seguridad en el desplazamiento y manifiestan que es de gran utilidad para las personas invidentes.

En la cuarta pregunta: ¿Se sintió cómodo al usar el dispositivo? El participante número 2 invidente de sexo femenino de 41 años afirmo sentirse incomoda, porque no era de su talla y estilo de vestir. El resto de los participantes expresan sentirse cómodos.

En la quinta pregunta que solo aplicaba para invidentes: ¿Tiene inconvenientes con el uso del bastón? el participante número 3 de 34 años y sexo femenino tuvo inconvenientes con el bastón ya que tiene la costumbre de usar el bastón de manera incorrecta. El resto de los invidentes afirman no tener inconvenientes con el uso del bastón. El invidente número 4 de 39 años de sexo masculino le agrado el dispositivo porque afirma que el bastón le ayuda con los obstáculos bajos mientras que el dispositivo le ayuda con los obstáculos altos.

Y en la sexta pregunta: ¿Es conveniente lanzar al mercado este dispositivo para que las personas invidentes se beneficien del producto?, todos estuvieron de acuerdo con lanzar al mercado el dispositivo, a excepción del participante número 2 de 41 años sexo femenino, porque afirma que el chaleco no hace parte de su forma de vestir, además sugiere instalar el dispositivo en otras prendas de vestir.

Después de verificar el funcionamiento del sistema anticolidión en los tres escenarios diferentes se llegó a las siguientes conclusiones:

- El sistema anticolidión funciona efectivamente en la detección de objetos estáticos, debido a que todos los objetos colocados en los escenarios fueron detectados.
- Los 5 sensores de la parte frontal se activaron dependiendo de la ubicación del objeto en el recorrido realizado, demostrando su buena funcionalidad.
- Las alertas de la presencia de objetos dadas por medio del módulo de sonido fueron efectivas en el tiempo en que la red neuronal evolutiva detecto el objeto.

6.2 Pruebas de detección de objetos en movimiento

Objetivo: Verificar y evaluar el funcionamiento del sistema anticolidión en la detección de objetos en movimiento en un ambiente externo, realizando el análisis de la detección del objeto por la red neuronal evolutiva en el proceso de obtención de datos, teniendo en cuenta la respuesta de los sensores que se activaron.

Escenarios: Se considera un escenario externo en donde se realiza la prueba con una persona en movimiento, un balón, una persona en bicicleta y con un vehiculo.

6.2.1 Escenario 1 Pruebas con persona, balón y bicicleta.

Se realizaron pruebas con diferentes redes neuronales. Las redes neuronales escogidas fueron forzadas a un entrenamiento con varias generaciones. En la Figura 6.8 se muestran las pruebas realizadas. El sistema está limitado por la capacidad máxima de detección de los sensores, sin embargo, los sensores detectan objetos en movimiento a partir de los 6 m y velocidades inferiores a 1.8 m/s.



Figura 6.8 Detección de persona, balón y bicicleta.
Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla 6.8 se presentan los resultados de la red neuronal evolutiva detectando la persona, el balón y la bicicleta en movimiento.

Eventos	Sensores que se activaron	Tiempo de respuesta de la red neuronal
Persona	S2, S5	2.59 s
Balón	S2, S5	3.053 s
Bicicleta	S2, S5	3.013 s

Tabla 6.8 Resultados de la detección de una persona, balón y bicicleta.
Fuente: Elaboración propia.

En el Gráfico 6.18 se muestra la detección de los objetos realizada por la red neuronal en el proceso de obtención de datos.

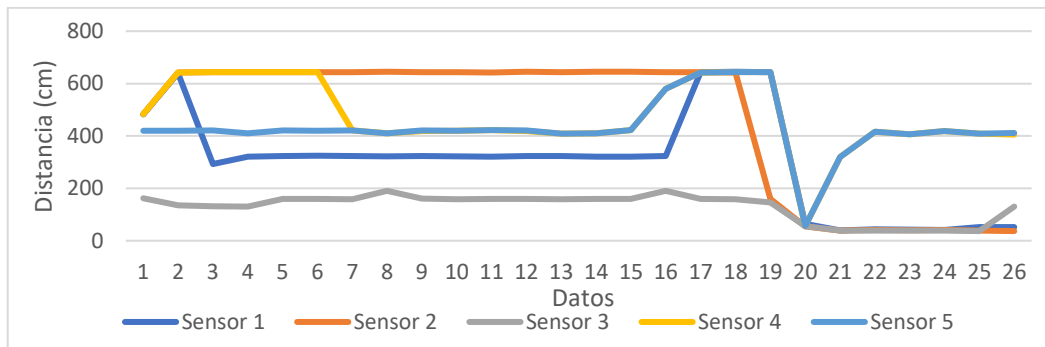


Gráfico 6.18 Detección de los objetos por la red neuronal en el proceso de obtención de datos.

Fuente: Elaboración propia.

- Los sensores comienzan a calibrarse entre el rango de 1 a 7, los cuales están detectando los objetos que se encuentran cerca al invidente entre los datos 8 a 17, entre 17 y 21 la red neuronal detecta que un objeto se está acercando al invidente, después de evadido el objeto los sensores se vuelven a estabilizar entre 22 y 26.
- En todos los eventos se toma la distancia máxima de recorrido de cada objeto de 645 cm, con un promedio de tiempo en el que ocurrió cada evento de: 6s para la persona caminado, 4s para el balón en movimiento y 4s para la persona en bicicleta en movimiento, en los tres eventos se activaron los sensores S2 ubicado en la parte frontal y S5 ubicado en la izquierda parte frontal, debido a que los objetos se desplazaron en estas direcciones.

6.2.2 Escenario 2 Pruebas con vehículo y sensores delanteros.

Se considera el mismo escenario externo en donde se realiza la prueba con un vehículo. Se van a tener en cuenta los resultados de los 5 sensores delanteros con RNAE. Para ello se ubica al vehículo a una distancia de 9m del participante y se procederá a acercar el vehículo a él como se puede observar en la Figura 6.9.



Figura 6.9 Detección de vehículo en movimiento con sensores delanteros.
Fuente: Elaboración propia.

Al realizar la prueba con los 10 participantes se obtuvieron los siguientes resultados.

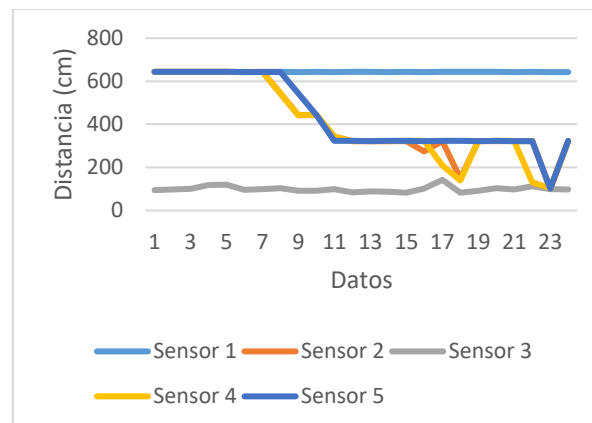


Gráfico 6.19 Datos de los sensores del participante N°1.
Fuente: Elaboración propia.

En el gráfico del participante N°1 el vehículo se acerca en el rango de 7 a 19, el invidente se aleja del peligro en 19 a 23.

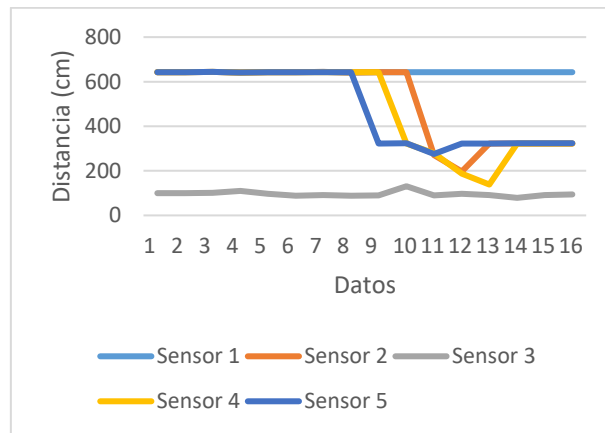


Gráfico 6.20 Datos de los sensores del participante N°2.
Fuente: Elaboración propia.

En el gráfico del participante N°2 el vehículo es detectado en el rango 9 a 13 y en el rango de 12 a 14 el invidente se aleja del vehículo.

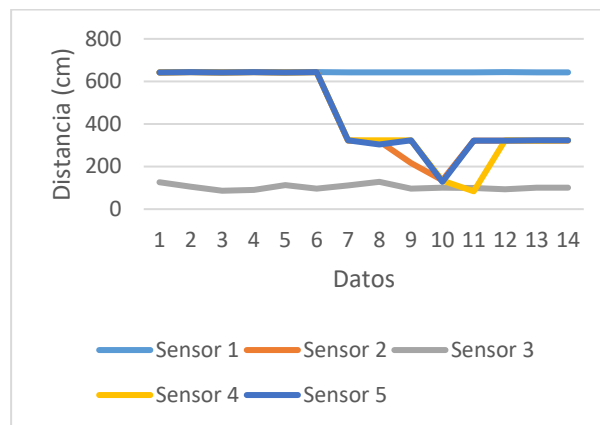


Gráfico 6.21 Datos de los sensores del participante N°3.
Fuente: Elaboración propia.

En el gráfico del participante N°3 el vehículo es detectado en el rango de 6 a 11, en el rango de 10 a 12 el invidente se aleja del vehículo.

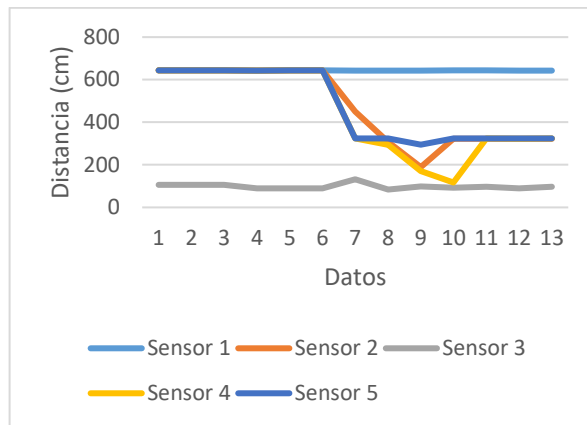


Gráfico 6.22 Datos de los sensores del participante N°4.
Fuente: Elaboración propia.

En el gráfico del participante N°4 el vehículo es detectado en el rango de 6 a 10, en el rango de 9 a 11 el invidente se aleja del vehículo.

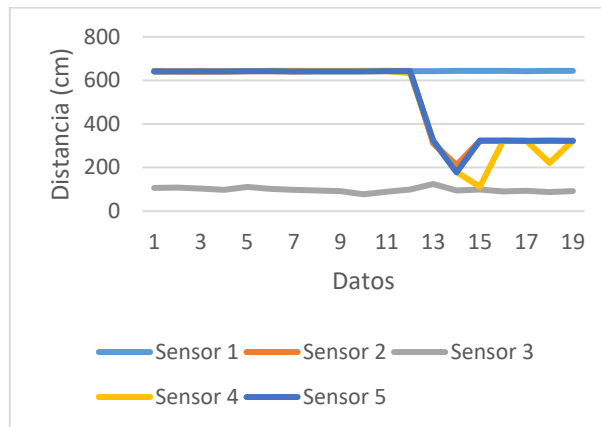


Gráfico 6.23 Datos de los sensores del participante N°5.
Fuente: Elaboración propia.

En el gráfico del participante N°5 el vehículo es detectado en el rango de 12 a 15, el invidente se aleja del peligro en el rango de 14 a 16.

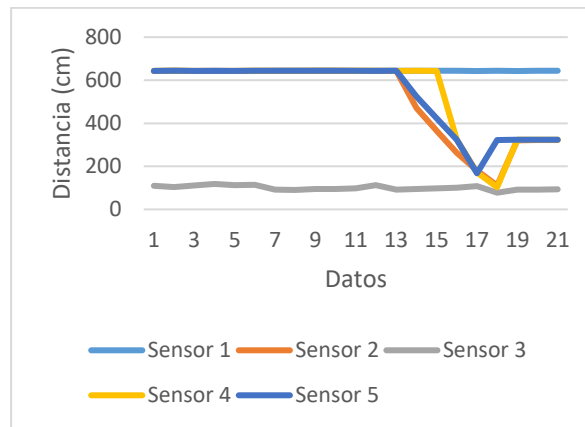


Gráfico 6.24 Datos de los sensores del participante N°6.
Fuente: Elaboración propia.

En el gráfico del participante N°6 el vehículo es detectado en el rango de 13 a 18, el participante se aleja del peligro en el rango de 17 a 19.

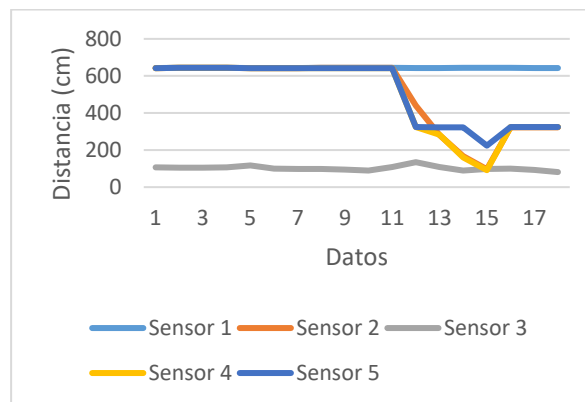


Gráfico 6.25 Datos de los sensores del participante N°7.
Fuente: Elaboración propia.

En el gráfico del participante N°7 el vehículo es detectado en el rango de 11 a 15, el participante se aleja del peligro en el rango de 15 a 16.

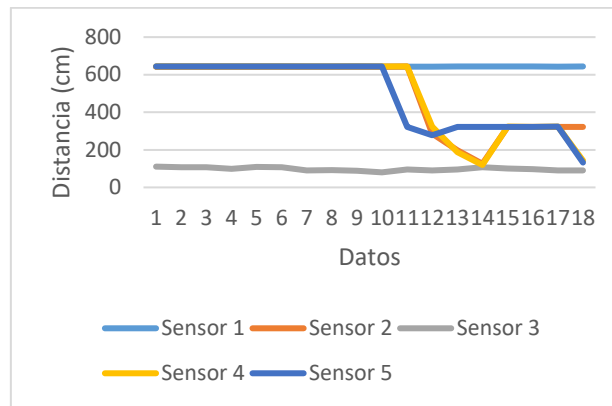


Gráfico 6.26 Datos de los sensores del participante N°8.
Fuente: Elaboración propia.

En el gráfico del participante N°8 el vehículo es detectado en el rango de 10 a 14, el participante se aleja del peligro en el rango de 14 a 15.

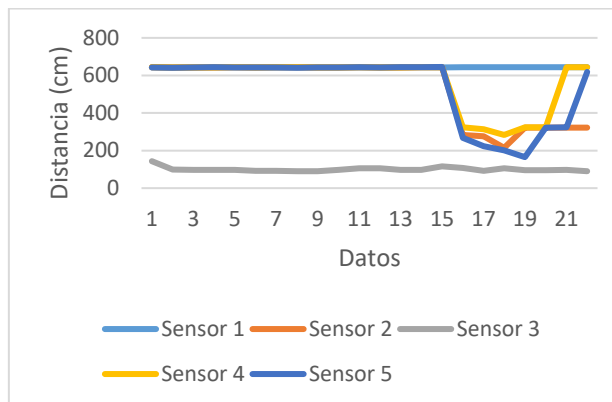


Gráfico 6.27 Datos de los sensores del participante N°9.
Fuente: Elaboración propia.

En el gráfico del participante N°9 el vehículo es detectado en el rango de 15 a 19, el participante se aleja del peligro en el rango de 18 a 20.

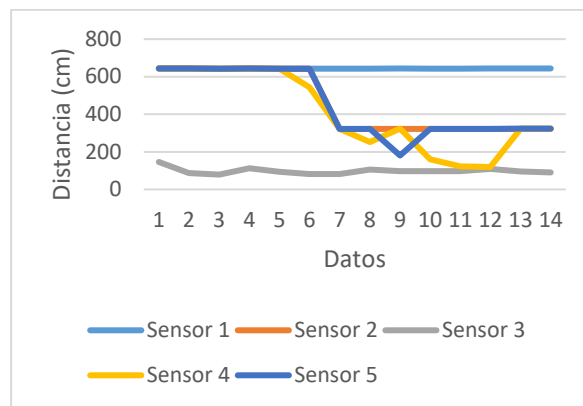


Gráfico 6.28 Datos de los sensores del participante N°10.
Fuente: Elaboración propia.

En el gráfico del participante N°10 el vehículo es detectado en el rango de 6 a 9, el participante se aleja del peligro en el rango de 9 a 13.

A continuación, en la Tabla 6.9 y en la Tabla 6.10 se muestran respectivamente los resultados obtenidos por los invidentes y los participantes con el indicador estadístico.

	Participante 1	Participante 2	Participante 3	Participante 4	Participante 5
Cuartil 1a	193,36	274,32	156,21	294,64	266,03
Cuartil 2a	323,85	641,35	323,85	323,85	641,35
Cuartil 3a	643,38	642,62	642,62	643,89	642,62

Tabla 6.9 Cuartiles de los resultados de los invidentes con objeto en movimiento 1.

Fuente: Elaboración propia.

	Participante 6	Participante 7	Participante 8	Participante 9	Participante 10
Cuartil 1b	262,89	238,06	190,18	277,50	198,12
Cuartil 2b	642,62	642,62	642,62	642,62	323,85
Cuartil 3b	643,89	643,57	643,89	643,89	642,62

Tabla 6.10 Cuartiles de los resultados de los participantes con objeto en movimiento 1.

Fuente: Elaboración propia.

A continuación, se muestran las gráficas obtenidas por el indicador estadístico.

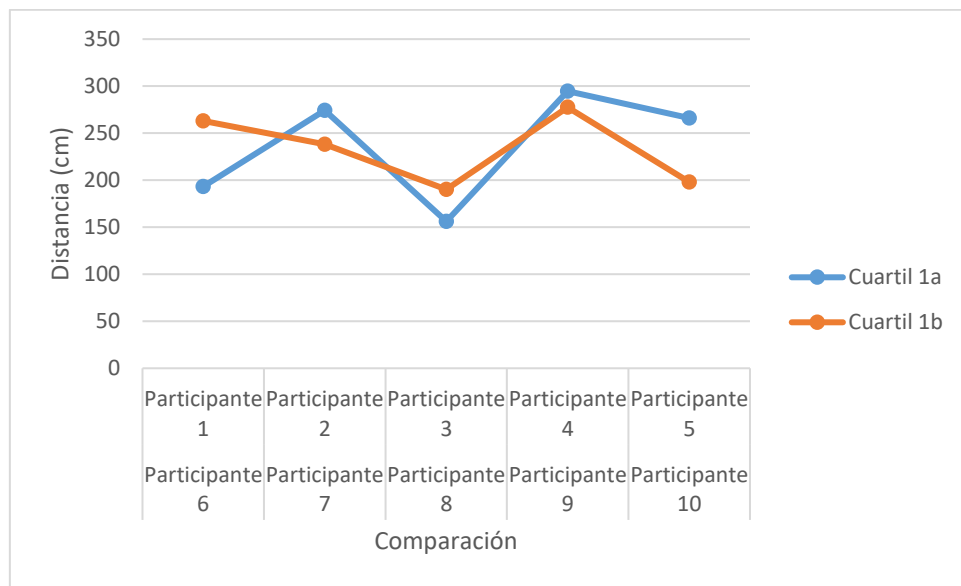


Gráfico 6.29 Cuartil 1 con objeto en movimiento con sensores frontales.
Fuente: Elaboración propia.

En el Gráfico 6.29 se aprecia que los invidentes estuvieron mas cerca del vehículo con respecto a los otros participantes. Es decir que lo más cercano que estuvieron al vehículo fue de 160 cm mientras que los otros participantes se mantuvieron a 190 cm.

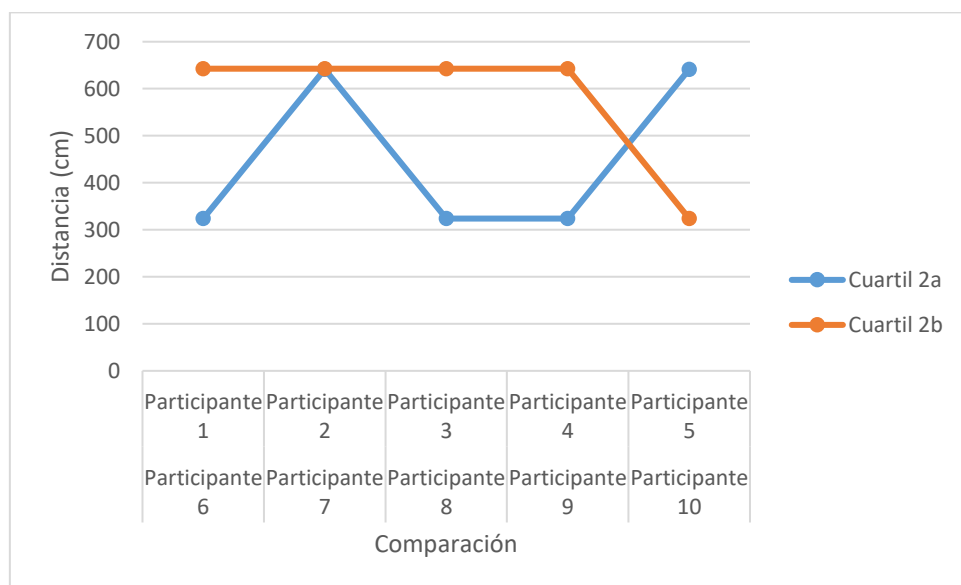


Gráfico 6.30 Cuartil 2 con objeto en movimiento con sensores frontales.
Fuente: Elaboración propia.

En el Gráfico 6.30 Los invidentes estuvieron mayor tiempo cerca del vehículo a 310 cm mientras que los otros participantes a 645 cm esto se debe a que los invidentes se alejaron del peligro un poco más lento que los demás participantes.

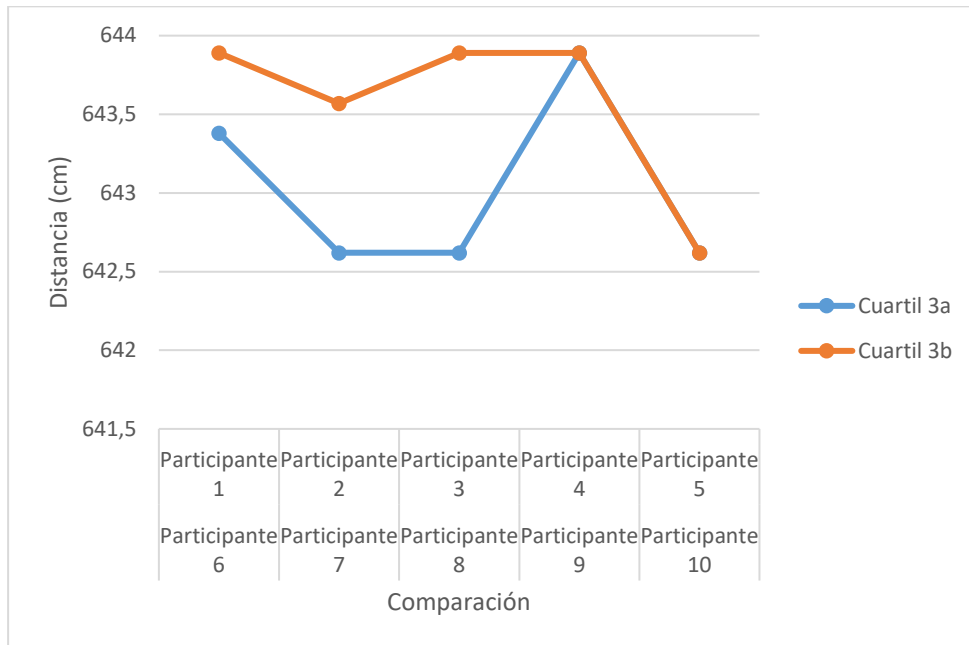


Gráfico 6.31 Cuartil 3 con objeto en movimiento con sensores frontales.

Fuente: Elaboración propia.

En el Gráfico 6.31 se observa que en el 75% que le corresponde al cuartil 3 la mayor parte del escenario no hubo peligro para los participantes.

6.2.3 Escenario 3 Pruebas con vehículo y sensores posteriores.

En este escenario se van a tener en cuenta los resultados de los 5 sensores posteriores con RNAE. Para ello se ubica al vehículo a una distancia de 7m del participante y se procederá a acercar el vehículo a los participantes como se puede observar en la Figura 6.10.



Figura 6.10 Detección de vehículo en movimiento con sensores posteriores.

Fuente: Elaboración propia.

Al realizar la prueba con los 10 participantes se obtuvieron los siguientes resultados.

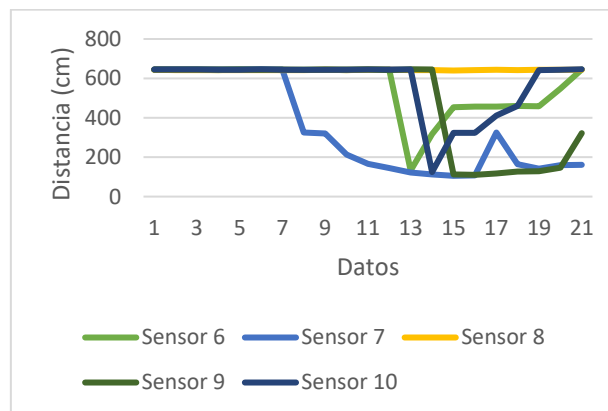


Gráfico 6.32 Datos de los sensores posteriores del participante N°1.

Fuente: Elaboración propia.

En el grafico del participante N°1 se puede observar que se detecta movimiento desde al frente desde el rango 7 a 19, el invidente se aleja del peligro en 11 a 17.

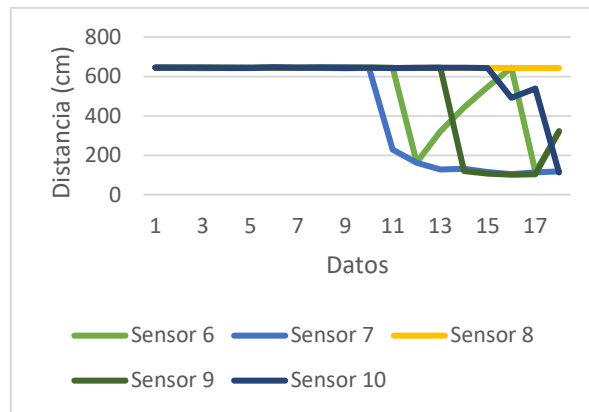


Gráfico 6.33 Datos de los sensores posteriores del participante N°2.
Fuente: Elaboración propia.

En el gráfico del participante N°2 el vehículo es detectado en el rango 9 a 13 y en el rango de 12 a 16 el invidente se aleja del vehículo.

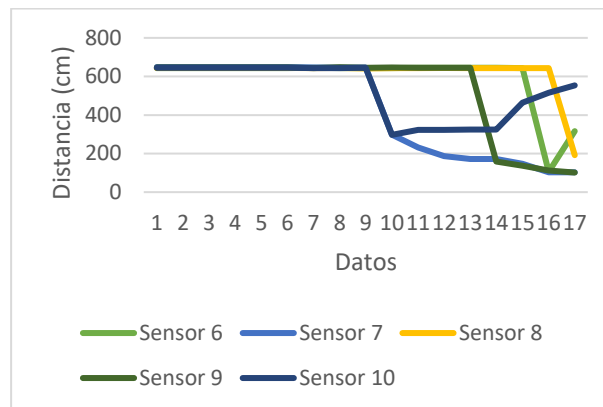


Gráfico 6.34 Datos de los sensores posteriores del participante N°3.
Fuente: Elaboración propia.

En el gráfico del participante N°3 el vehículo es detectado en el rango de 9 a 11, en el rango de 10 a 17 el invidente se aleja del vehículo.

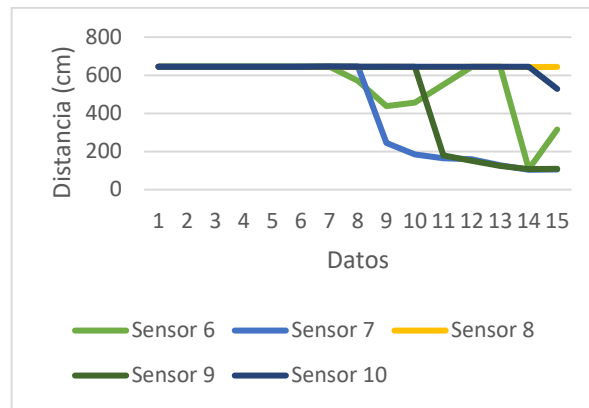


Gráfico 6.35 Datos de los sensores posteriores del participante N°4.
Fuente: Elaboración propia.

En el gráfico del participante N°4 el vehículo es detectado en el rango de 7 a 9, en el rango de 9 a 15 el invidente se aleja del vehículo.

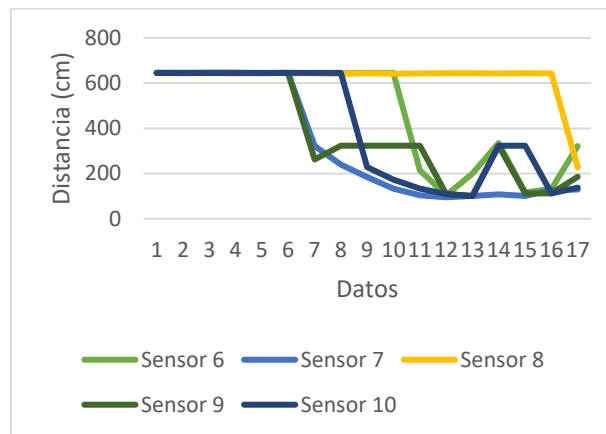


Gráfico 6.36 Datos de los sensores posteriores del participante N°5.
Fuente: Elaboración propia.

En el gráfico del participante N°5 el vehículo es detectado en el rango de 6 a 9, el invidente se aleja del peligro en el rango de 9 a 16.

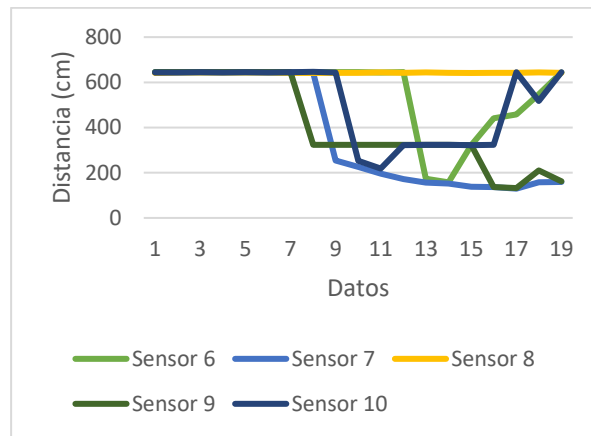


Gráfico 6.37 Datos de los sensores posteriores del participante N°6.
Fuente: Elaboración propia.

En el gráfico del participante N°6 el vehículo es detectado en el rango de 7 a 11, el participante se aleja del peligro en el rango de 11 a 17.

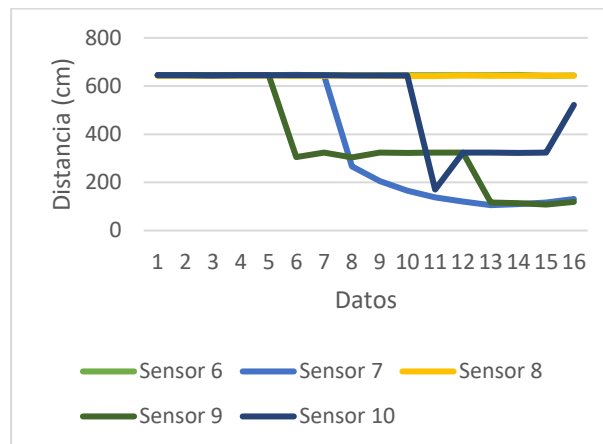


Gráfico 6.38 Datos de los sensores posteriores del participante N°7.
Fuente: Elaboración propia.

En el gráfico del participante N°7 el vehículo es detectado en el rango de 5 a 8, el participante se aleja del peligro en el rango de 8 a 14.

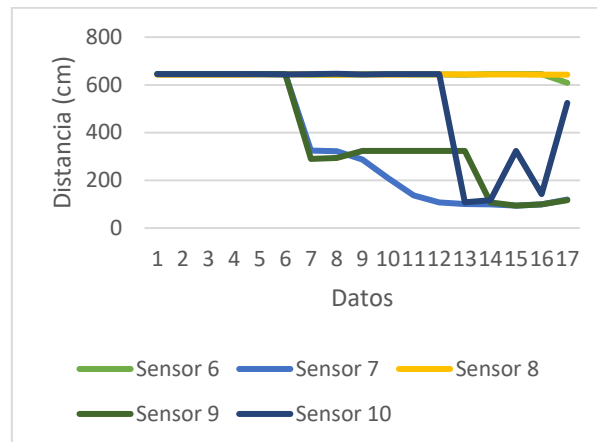


Gráfico 6.39 Datos de los sensores posteriores del participante N°8.
Fuente: Elaboración propia.

En el gráfico del participante N°8 el vehículo es detectado en el rango de 6 a 11, el participante se aleja del peligro en el rango de 11 a 16.

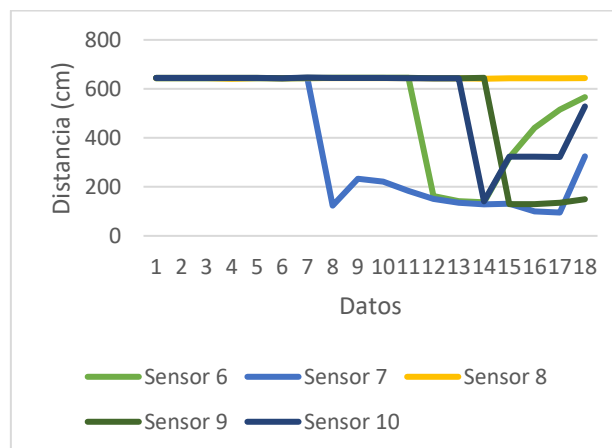


Gráfico 6.40 Datos de los sensores posteriores del participante N°9.
Fuente: Elaboración propia.

En el gráfico del participante N°9 el vehículo es detectado en el rango de 7 a 12, el participante se aleja del peligro en el rango de 12 a 17.

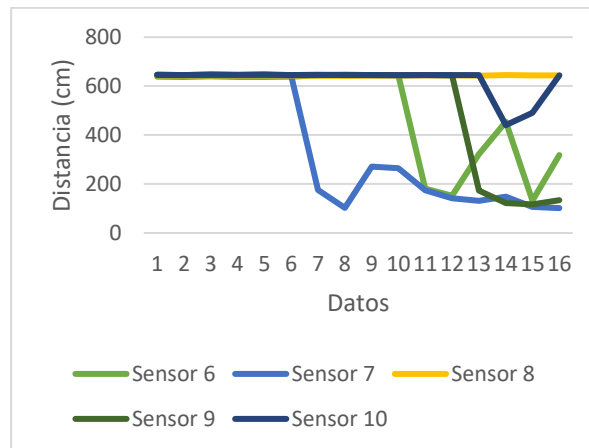


Gráfico 6.41 Datos de los sensores posteriores del participante N°10.
Fuente: Elaboración propia.

En el gráfico del participante N°10 el vehículo es detectado en el rango de 7 a 11, el participante se aleja del peligro en el rango de 11 a 16.

A continuación, en la Tabla 6.11 y en la Tabla 6.12 se muestran respectivamente los resultados obtenidos por los invidentes y los participantes con el indicador estadístico.

	Participante 1	Participante 2	Participante 3	Participante 4	Participante 5
Cuartil 1a	411,48	641,35	515,62	607,06	184,15
Cuartil 2a	643,89	643,89	643,89	643,89	642,62
Cuartil 3a	645,16	645,16	645,16	645,16	645,16

Tabla 6.11 Cuartiles de los resultados de los invidentes con objeto en movimiento 2.

Fuente: Elaboración propia.

	Participante 6	Participante 7	Participante 8	Participante 9	Participante 10
Cuartil 1b	323,85	323,85	323,85	354,01	451,17
Cuartil 2b	642,62	643,26	643,89	643,89	643,89
Cuartil 3b	645,16	645,16	645,16	645,16	645,16

Tabla 6.12 Cuartiles de los resultados de los participantes con objeto en movimiento 2.

Fuente: Elaboración propia.

A continuación, se muestran las gráficas obtenidas por el indicador estadístico.

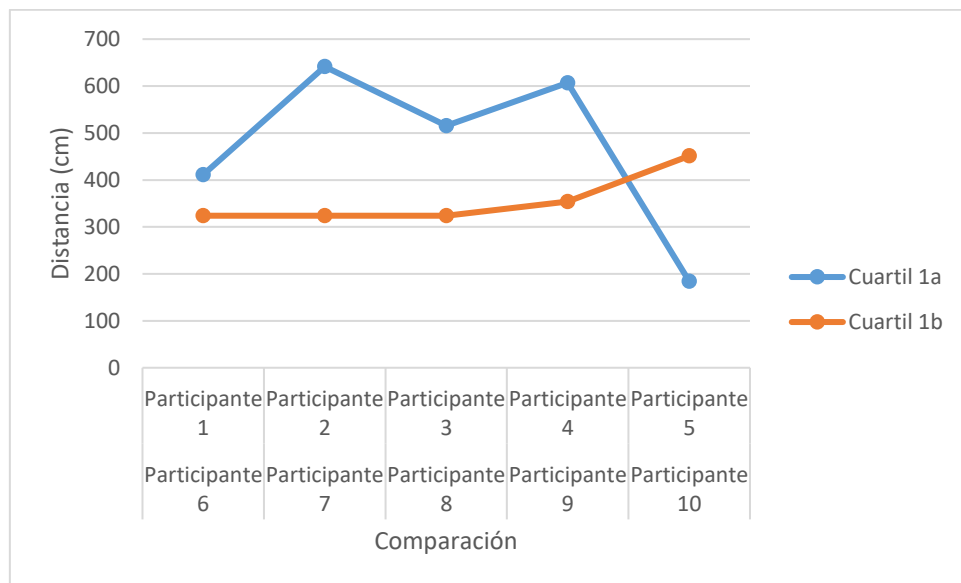


Gráfico 6.42 Cuartil 1 con objeto en movimiento con sensores posteriores
Fuente: Elaboración propia.

En el Gráfico 6.42 se aprecia que los incidentes estuvieron más alejados del vehículo a excepción del participante 5. Lo más cercano que estuvo al vehículo fue de 190 cm y lo más lejano a 645 cm, mientras que los otros participantes se mantuvieron a 310 cm y máximo 450 cm

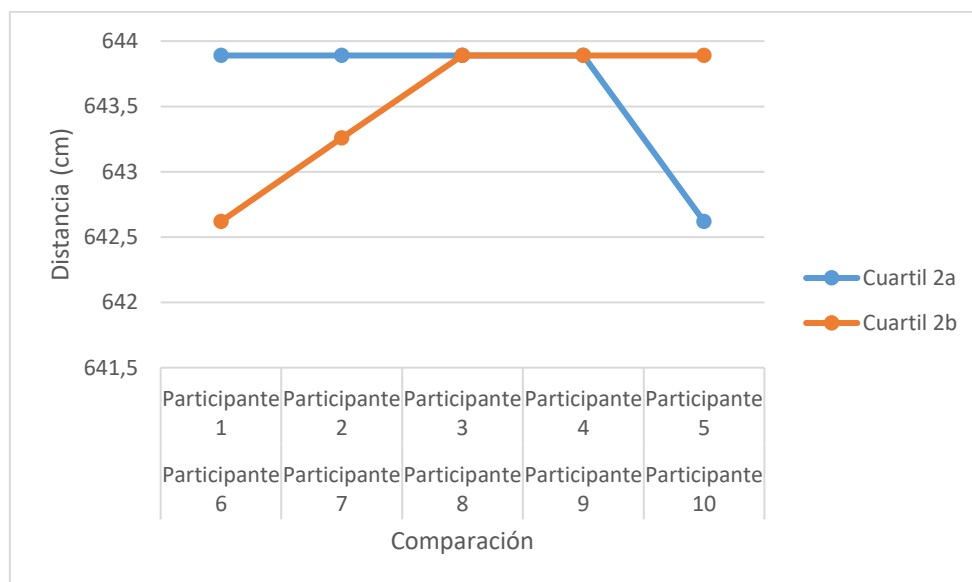


Gráfico 6.43 Cuartil 2 con objeto en movimiento con sensores posteriores.
Fuente: Elaboración propia.

En el Gráfico 6.30 Los participantes se mantuvieron fuera de peligro.

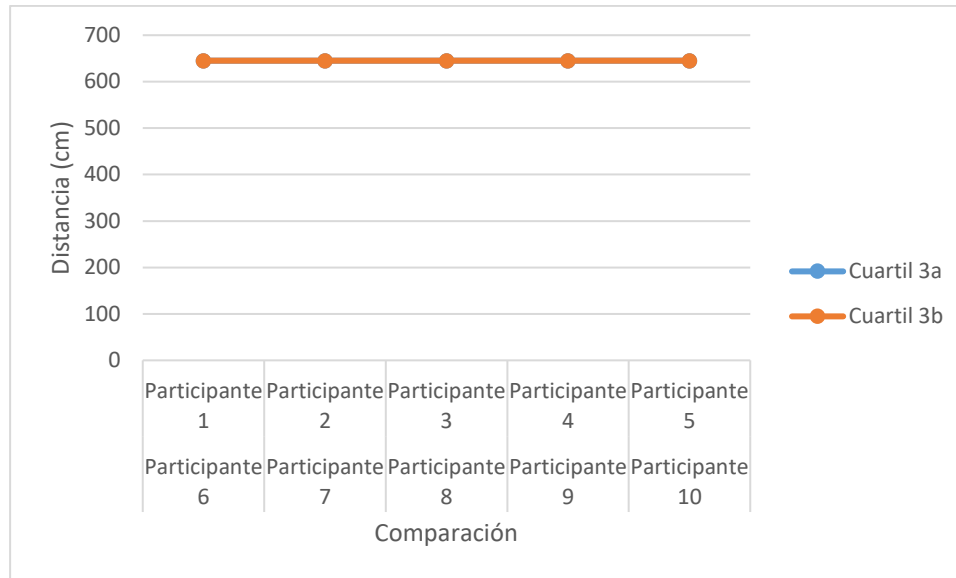


Gráfico 6.44 Cuartil 3 con objeto en movimiento con sensores posteriores.
Fuente: Elaboración propia.

En el Gráfico 6.44 se observa que en el 75% que le corresponde al cuartil 3 la mayor parte del escenario no hubo peligro para los participantes.

Después de verificar el funcionamiento del sistema anticolidión detectando objetos en movimiento se llegó a las siguientes conclusiones:

- El sistema anticolidión funciona detectando la presencia de objetos en movimiento.
- Teniendo en cuenta las tablas y las gráficas se observa que los rangos de distancia de detección de los diferentes objetos con la red neuronal evolutiva son efectivos, presentando mayor seguridad para el invidente.
- Las alertas de la presencia de objetos dadas por medio del módulo de sonido fueron efectivas en el tiempo en que la red neuronal evolutiva detectó el objeto.

Capítulo 7.

Conclusiones y recomendaciones

En conclusión, se puede decir que el dispositivo, resulta más familiar para las personas invidentes quienes normalmente hacen uso de la audición, para poder guiarse, por este motivo se adaptaron más fácilmente al dispositivo, a pesar de no conocer el lugar, ni su funcionamiento.

Lo que no se puede afirmar, de las personas que están acostumbradas a guiarse por el sentido de la vista, porque al sentirse privadas de la visión, con el uso del antifaz de color negro, de un momento a otro, sintieron temor y al estar en un lugar desconocido, algunos de ellos no lograron concentrarse en las señales de prevención, que les enviaba el dispositivo.

Se crearon redes neuronales artificiales a partir del algoritmo genético cooperativo coevolutivo (AGCC), con el cual se realizó la estructura, modificación y entrenamiento de las redes neuronales, pasando por operadores de selección, cruce y mutación, el sistema utilizó redes neuronales recurrentes cubriendo el rango requerido.

Se probó la funcionalidad de la matriz de definición de red (MDR), para elaborar redes neuronales evolutivas. Una vez esté realizada la MDR se crea una red neuronal artificial para luego ser entrenada y proporcionar la respuesta.

Se aplicó la cooperatividad, donde el individuo que obtenga mejores resultados ayudará al que este con bajo valor de aptitud, si no se encuentra la respuesta pasan de nuevo los mejores individuos a ser seleccionados en una nueva generación, es

decir si la respuesta no es la deseada volverán a la parte de selección hasta obtenerse la respuesta deseada.

El hardware se implementó con 10 sensores ubicados para detectar objetos provenientes de la parte superior, frontal, inferior, derecha e izquierda, estos se conectaron al módulo Arduino que procesa y filtra la información proporcionada por los sensores. Luego la red neuronal evolutiva es ejecutada con los datos de los sensores, la respuesta de la red neuronal es binaria para cada sensor advirtiendo si existe o no peligro. En el caso de que detecte un objeto en movimiento o estático alertará al invidente a través del módulo de sonido que contiene los archivos de audio en mp3, el dispositivo se alimentó con batería recargable.

El programa realizó varias redes neuronales generando en cada ejecución 10 cromosomas que, al ser entrenados con el AGCC, aplicando la cooperatividad, se obtuvieron las mejores redes neuronales anticolidión, teniendo en cuenta un tiempo definido, funcionando efectivamente para la detección de obstáculos estáticos y con movimiento.

En el sistema anticolidión para invidentes se observó la eficacia de las redes neuronales entrenadas con el algoritmo genético cooperativo coevolutivo, se obtuvieron resultados aproximados al vector objetivo, detectando objetos tanto estáticos como en movimiento proporcionando seguridad al invidente, evitando colisiones con estos.

La red neuronal evolutiva encuentra y detecta un objeto en movimiento en el 25% realizado en cuartiles. Y en la detección de obstáculos estáticos en el cuartil 2 que equivale el 50% fue semejante al de los invidentes que usaron el bastón. Con lo cual se demuestra que la RNAE descarta y a la vez detecta obstáculos estáticos y en movimiento.

Los jóvenes se adaptaron al dispositivo, debido a que el chaleco era de su talla, además respondieron favorablemente, puesto que ellos tienen la capacidad de adaptarse fácilmente a las nuevas tecnologías. El dispositivo a futuro permite personalizarlo y adecuarlo a la talla, sexo, edad y gusto de cada persona.

Se recomienda para trabajos futuros buscar mejores sensores que operen a una mayor velocidad de adquisición de datos como los sensores de efecto doppler.

Bibliografía

- [1] World Health Organization, "Vision impairment and blindness," 2011. [Online]. Available: <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs282/en>.
- [2] Dane, "Censo general 2005 de discapacidad," 2005. [Online]. Available: <http://www.dane.gov.co/files/censo2005/discapacidad.pdf>.
- [3] P. Costa, H. Fernandes, P. Martins, J. Barroso, and L. J. Hadjileontiadis, "Obstacle detection using stereo imaging to assist the navigation of visually impaired people," *Procedia Computer Science*, vol. 14, pp. 83–93, 2012.
- [4] S. Falcón, "Los profesionales del bastón blanco : la experiencia vivida por personas ciegas o ciegas legales sobre la búsqueda de empleo en Puerto Rico," tesis doctoral, Universidad de Puerto Rico, 2014.
- [5] Secretaria Distrital de Movilidad Bogota D.C, "Orientaciones generales en seguridad vial y comportamiento ciudadano," 2011. [Online]. Available: <http://escuelamclaren.com/wp-content/uploads/2015/07/orientaciones-generales-en-seguridad-vial.pdf>.
- [6] H. Fernandes, V. Filipe, P. Costa, and J. Barroso, "Location based services for the blind supported by RFID technology," *Procedia Computer Science*, vol. 27, pp. 2–8, 2013.
- [7] M. Bueno, "Contribución a los protocolos anticolidión y técnicas de dimensionamiento para sistemas de identificación por radiofrecuencia," tesis doctoral, Universidad Politécnica de Cartagena, 2010.
- [8] M. Mekhalfi, F. Melgani, A. Zeggada, F. De Natale, M. Salem, and A. Khamis, "Recovering the sight to blind people in indoor environments with smart technologies," *Expert Systems with Applications*, vol. 46, pp. 129–138, 2016.
- [9] C. Tsirmpas, A. Rompas, O. Fokou, and D. Koutsouris, "An indoor navigation system for

visually impaired and elderly people based on Radio Frequency Identification (RFID)," *Information Sciences*, vol. 320, pp. 288–305, 2015.

- [10] M. Serrão, J. M. Rodrigues, J. I. Rodrigues, and J. Du Buf, "Indoor localization and navigation for blind persons using visual landmarks and a GIS," *Procedia Computer Science*, vol. 14, pp. 65–73, 2012.
- [11] C. Lee, C. Chen, P. Sung, and S. Lu, "Assessment of a simple obstacle detection device for the visually impaired," *Applied Ergonomics*, vol. 45, no. 4, pp. 817–824, 2014.
- [12] N. Mahmud, R. Saha, R. Zafar, M. Bhuiyan, and S. Sarwar, "Vibration and voice operated navigation system for visually impaired person," *IEEE International Conference on Informatics, Electronics and Vision*, pp. 1–5, 2014.
- [13] I. Chung, S. Kim, and K. Rhee, "The smart cane utilizing a smart phone for the visually impaired person," *IEEE 3rd Global Conference on Consumer Electronics*, pp. 106–107, 2014.
- [14] Y. Niitsu, T. Taniguchi, and K. Kawashima, "Detection and notification of dangerous obstacles and places for visually impaired persons using a smart cane," *IEEE 7th International Conference on Mobile Computing and Ubiquitous Networking*, pp. 68–69, 2014.
- [15] J. Villanueva and R. Farcy, "Optical device indicating a safe free path to blind people," *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, vol. 61, no. 1, pp. 170–177, 2012.
- [16] M. Moreno, S. Shahrabadi, J. José, J. Du Buf, and J. Rodrigues, "Realtime local navigation for the blind: Detection of lateral doors and sound interface," *Procedia Computer Science*, vol. 14, pp. 74–82, 2012.
- [17] A. Mpitziopoulos, C. Konstantopoulos, D. Gavalas, and G. Pantziou, "A pervasive assistive environment for visually impaired people using wireless sensor network infrastructure," *Journal of Network and Computer Applications*, vol. 34, no. 1, pp. 194–206, 2011.
- [18] S. Gallo, D. Chapuis, L. Santos, Y. Kim, P. Retornaz, and H. Bleuler, "Augmented white cane with multimodal haptic feedback," *International Conference on Biomedical Robotics and Biomechatronics*, pp. 149–155, 2010.
- [19] B. Ando, S. Baglio, V. Marletta, and A. Valastro, "A haptic solution to assist visually impaired in mobility tasks," *IEEE Transactions on Human-Machine Systems*, vol. 45, no. 5, pp. 641–646, 2015.

- [20] S. Ammar, J. Frikha, I. Khanfir, and D. Sellami, "New electronic cane for visually impaired people for obstacle detection and recognition," *IEEE International Conference on Vehicular Electronics and Safety*, pp. 416–420, 2012.
- [21] A. Tamjidi, C. Ye, and S. Hong, "6-DOF pose estimation of a portable navigation aid for the visually impaired," *IEEE International Symposium on Robotic and Sensors Environments*, pp. 178–183, 2013.
- [22] K. Vetteth, P. Ganesh, and D. Srikar, "Collision avoidance device for visually impaired," *International Journal of Scientific & Technology Research*, vol. 2, no. 10, pp. 185–188, 2013.
- [23] S. Damdhare and A. Sakhare, "Smart stick for blind : Obstacle detection, artificial vision and real-time assistance via GPS.," *International Journal of Computer Applications*, pp. 31–33, 2011.
- [24] B. Sövény, G. Kovács, and Z. Kardkovács, "Blind guide: A virtual eye for guiding indoor and outdoor movement," *Journal on Multimodal User Interfaces*, vol. 9, no. 4, pp. 287–297, 2015.
- [25] L. Chen, B. Guo, and W. Sun, "Obstacle detection system for visually impaired people based on stereo vision," *Fourth International Conference on Genetic and Evolutionary Computing*, pp. 723–726, 2010.
- [26] M. Kang, S. Chae, J. Sun, J. Yoo, and S. Ko, "A novel obstacle detection method based on deformable grid for the visually impaired," *IEEE Transactions on Consumer Electronics*, vol. 61, no. 3, pp. 376–383, 2015.
- [27] R. Tapu, B. Mocanu, and T. Zaharia, "Real time static/dynamic obstacle detection for visually impaired persons," *IEEE International Conference on Consumer Electronics*, pp. 394–395, 2014.
- [28] R. Tapu, B. Mocanu, A. Bursuc, and T. Zaharia, "A smartphone-based obstacle detection and classification system for assisting visually impaired people," *IEEE International Conference on Computer Vision Workshops*, pp. 444–451, 2013.
- [29] F. Navarro, S. Cancino, and E. Estupiñan, "Depth estimation for visually impaired people using mobile devices," *IEEE 5th Latin American Symposium on Circuits and Systems*, pp. 1–4, 2014.
- [30] S. Gautam, K. Sivaraman, H. Muralidharan, and A. Baskar, "Vision system with audio feedback to assist visually impaired to grasp objects," *Procedia Computer Science*, vol. 58, pp. 387–394, 2015.

- [31] M. Owayjan, A. Hayek, H. Nassrallah, and M. Eldor, "Smart assistive navigation system for blind and visually impaired individuals," *International Conference on Advances in Biomedical Engineering*, pp. 162–165, 2015.
- [32] M. Vlamincx, L. Jovanov, P. Van Hese, B. Goossens, W. Philips, and A. Pizurica, "Obstacle detection for pedestrians with a visual impairment based on 3D imaging," *International Conference on 3D Imaging*, pp. 1–7, 2013.
- [33] A. Noorithaya, M. Kumar, and A. Sreedevi, "Voice assisted navigation system for the blind," *Proceedings of International Conference on Circuits, Communication, Control and Computing*, pp. 177–181, 2014.
- [34] H. Archana, C. Chellaram, and M. Rajalakshmi, "Obstacle detection for visually impaired patients," *International Conference on Science Engineering and Management Research*, pp. 1–3, 2014.
- [35] E. Vera, "Crean reemplazo de bastón para personas invidentes," *UN Periodico*, no. 130, p. 16, 2010.
- [36] S. Bhatlawande, M. Mahadevappa, and J. Mukhopadhyay, "Way-finding electronic bracelet for visually impaired people," *IEEE Special Topic Conference on Point-of-Care Healthcare Technologies: Synergy Towards Better Global Healthcare*, pp. 260–263, 2013.
- [37] L. Villamizar, M. Gualdrón, F. Gonzalez, J. Aceros, and C. Rizzo, "A necklace sonar with adjustable scope range for assisting the visually impaired," *Proceedings of the Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society*, pp. 1450–1453, 2013.
- [38] D. Raghuvanshi, I. Dutta, and R. Vaidya, "Design and analysis of a novel sonar-based obstacle-avoidance system for the visually impaired and unmanned systems," *IEEE International Conference on Embedded Systems*, pp. 238–243, 2014.
- [39] F. Prattico, C. Cera, and F. Petroni, "A new hybrid infrared-ultrasonic electronic travel aids for blind people," *IEEE Sensors and Actuators, A: Physical*, vol. 201, pp. 363–370, 2013.
- [40] S. Bhatlawande, J. Mukhopadhyay, and M. Mahadevappa, "Ultrasonic spectacles and waist-belt for visually impaired and blind person," *IEEE National Conference on Communications*, pp. 8–11, 2012.
- [41] K. Lin, T. Lau, C. Cheuk, and Y. Liu, "A wearable stereo vision system for visually impaired," *IEEE International Conference on Mechatronics and Automation*, pp. 1423–

1428, 2012.

- [42] D. Soukaras, I. Chaniotis, I. Karagiannis, I. Stampoglou, C. Triantafyllou, and N. Tselikas, "Augmented audio reality mobile application specially designed for visually impaired people," *Proceedings of the 16th Panhellenic Conference on Informatics*, pp. 13–18, 2012.
- [43] B. Mustapha, A. Zayegh, and R. Begg, "Reliable wireless obstacle detection system for elderly and visually impaired people with multiple alarm units," *IEEE 1st International Conference on Computer, Communications, and Control Technology*, pp. 271–276, 2014.
- [44] C. Lakde and P. Prasad, "Navigation system for visually impaired people," *International Conference on Computation of Power, Energy, Information and Communication*, vol. 4, no. 1, pp. 93–98, 2015.
- [45] J. Lee, K. Kim, S. Lee, and B. Shin, "Smart backpack for visually impaired person," *Proceedings International Conference on information and communication technology for Smart Society*, pp. 26–29, 2013.
- [46] S. Han, D. Kim, and J. Kim, "Fuzzy gaze control-based navigational assistance system for visually impaired people in a dynamic indoor environment," *IEEE International Conference on Fuzzy Systems*, 2015.
- [47] G. Pineda, J. Ortiz, and F. Mercado, "A prototype helping device for the visually impaired using an optical to mechanical transducer," *IEEE International Autumn Meeting on Power, Electronics and Computing*, 2013.
- [48] K. Gurkan and A. Akan, "VibroCap: A mobility supporting hat for blind," *IEEE 8th International Conference on Electrical and Electronics Engineering*, pp. 367–370, 2013.
- [49] S. Bahadir, V. Koncar, and F. Kalaoglu, "Wearable obstacle detection system fully integrated to textile structures for visually impaired people," *IEEE Sensors and Actuators, A: Physical*, vol. 179, pp. 297–311, 2012.
- [50] B. Shin and C. Lim, "Obstacle detection and avoidance system for visually impaired people," *IEEE Haptic and Audio Interaction Design*, pp. 78–85, 2007.
- [51] B. Sourab, H. Ranganatha, and S. D'Souza, "Design and implementation of mobility aid for blind people," *Proceedings of IEEE International Conference on Power and Advanced Control Engineering*, pp. 290–294, 2015.
- [52] A. Pereira, N. Nunes, D. Vieira, N. Costa, H. Fernandes, and J. Barroso, "Blind Guide: An Ultrasound Sensor-based Body Area Network for Guiding Blind People," *Procedia Computer Science*, vol. 67, pp. 403–408, 2015.

- [53] Y. Ji, J. Hwang, and E. Y. Kim, "An Intelligent Wheelchair Using Situation Awareness and Obstacle Detection," *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, vol. 97, pp. 620–628, 2013.
- [54] K. Chaccour, J. Eid, R. Darazi, A. Hassani, and E. Andres, "Multisensor guided walker for visually impaired elderly people," *International Conference on Advances in Biomedical Engineering*, pp. 158–161, 2015.
- [55] H. Ogawa, K. Tobita, K. Sagayama, and M. Tomizuka, "A guidance robot for the visually impaired: System description and velocity reference generation," *IEEE Symposium on Computational Intelligence in Robotic Rehabilitation and Assistive Technologies*, pp. 9–15, 2014.
- [56] L. Wang, N. Li, D. Ni, and J. Wu, "Navigation system for the visually impaired individuals with the kinect and vibrotactile belt," *IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics*, pp. 1874–1879, 2014.
- [57] G. Cerri, A. De Leo, V. Di Mattia, G. Manfredi, V. Primiani, and V. Petrini, "The electromagnetic technology for safe mobility of visually impaired people," *22nd Mediterranean Conference on Control and Automation*, pp. 164–168, 2014.
- [58] V. Di Mattia, P. Russo, A. De Leo, V. Mariani Primiani, V. Petrini, and G. Cerri, "An electromagnetic device for autonomous mobility of visually impaired people," *European Microwave Conference: Connecting the Future*, pp. 472–475, 2014.
- [59] V. Di Mattia, P. Russo, L. Scalise, A. De Leo, V. M. Primiani, and V. Petrini, "Electromagnetic travel aids for visually impaired users," *Proceedings of International Conference on Electromagnetics in Advanced Applications*, pp. 1408–1411, 2013.
- [60] K. Lee, M. Li, and C. Lin, "A novel way-finding method based on geomagnetic field effects and magnetic tensor measurement for visually impaired users.," *IEEE International Conference on Advanced Intelligent Mechatronics*, vol. 21, no. 6, pp. 2694–2704, 2016.
- [61] E. Tekin, J. M. Coughlan, and H. Shen, "Real-time detection and reading of LED/LCD displays for visually impaired persons," *IEEE Workshop on Applications of Computer Vision*, pp. 491–496, 2011.
- [62] L. Hakobyan, J. Lumsden, D. O'Sullivan, and H. Bartlett, "Mobile assistive technologies for the visually impaired," *Survey of Ophthalmology*, vol. 58, no. 6, pp. 513–528, 2013.
- [63] M. Rodriguez, M. Moreno, E. Martin, S. Borromeo, and J. Hernandez, "Accessible smartphones for blind users: A case study for a wayfinding system," *Expert Systems with Applications*, vol. 41, no. 16, pp. 7210–7222, 2014.

- [64] M. Uddin and A. Suny, "Shortest path finding and obstacle detection for visually impaired people using smart phone," *International Conference on Electrical Engineering and Information Communication Technology*, pp. 1–4, 2015.
- [65] N. Dim, K. Kim, and X. Ren, "Designing motion marking menus for people with visual impairments," *International Journal of Human Computer Studies*, vol. 109, pp. 79–88, 2018.
- [66] Y. Liu, C. Yang, Y. Yang, F. Lin, X. Du, and T. Ito, "Case learning for CBR-based collision avoidance systems," *IEEE Applied Intelligence*, vol. 36, no. 2, pp. 308–319, 2012.
- [67] Q. Xu, "Collision avoidance strategy optimization based on danger immune algorithm," *Computers and Industrial Engineering*, vol. 76, pp. 268–279, 2014.
- [68] J. Zhang, D. Zhang, X. Yan, S. Haugen, and C. Guedes, "A distributed anti-collision decision support formulation in multi-ship encounter situations under COLREGs," *Ocean Engineering*, vol. 105, pp. 336–348, 2015.
- [69] H. Chin and A. Debnath, "Modeling perceived collision risk in port water navigation," *Safety Science*, vol. 47, no. 10, pp. 1410–1416, 2009.
- [70] R. Isermann, R. Mannale, and K. Schmitt, "Collision-avoidance systems PRORETA: Situation analysis and intervention control," *Control Engineering Practice*, vol. 20, no. 11, pp. 1236–1246, 2012.
- [71] J. Tomás, "Design and evaluation of CCA (Cooperative Collision Avoidance) applications for Vehicular Ad-hoc Networks," tesis doctoral, Universidad politecnica de cartagena, 2013.
- [72] Z. Wu, J. Yang, and L. Huang, "Study on the collision avoidance strategy at unsignalized intersection based on prescan simulation," *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, vol. 96, pp. 1315–1321, 2013.
- [73] J. Eberharter and M. Rajek, "Dynamic anti-collision system for hydraulic cranes," *Proceedings of the 18th World Congress the International Federation of Automatic Control*, vol. 18, pp. 1070–1071, 2011.
- [74] J. Rebollo, I. Maza, and A. Ollero, "Planificación de trayectorias libres de colisión para múltiples UAVs usando el perfil de velocidad," *Revista Iberoamericana de Automática e Informática Industrial*, vol. 6, no. 4, pp. 51–60, 2009.
- [75] N. Gageik, T. Müller, and S. Montenegro, "Obstacle Detection and Collision Avoidance Using Ultrasonic Distance Sensors for an Autonomous Quadrocopter," *International Journal of Engineering Trends and Technology*, vol. 17, no. 2, pp. 1–6, 2012.

- [76] S. Pundlik, M. Tomasi, and G. Luo, "Collision detection for visually impaired from a body-mounted camera," *IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition Workshops*, pp. 41–47, 2013.
- [77] S. Chae, J. Sun, M. Kang, B. Son, and S. Ko, "Collision detection based on scale change of image segments for the visually impaired," *IEEE International Conference on Consumer Electronics*, pp. 511–512, 2015.
- [78] C. Ramer, C. Ziegler, S. Reitelshofer, and J. Franke, "Sensor-guided jogging for visually impaired," *5th IEEE International Conference on Biomedical Robotics and Biomechatronics*, pp. 467–472, 2014.
- [79] A. Tallón, "Nuevos modelos de redes neuronales evolutivas para clasificación: aplicación a unidades producto y unidades sigmoide," tesis doctoral, Universidad de Sevilla, 2013.
- [80] B. Hammer, "On the approximation capability of recurrent neural networks," *Neurocomputing*, vol. 31, pp. 107–123, 2000.
- [81] J. Bojorquez, "Uso de redes neuronales artificiales para estimar la respuesta sísmica de sistemas estructurales," tesis de maestría, Universidad Nacional Autónoma de México, 2011.
- [82] A. Graves, "Supervised Sequence Labelling with Recurrent Neural Networks," tesis doctoral, Technical University of Munich, 2012.
- [83] F. Mendonca, B. Dantas, C. Zanchettin, and J. Jardim, "Handwriting recognition system for mobile accessibility to the visually impaired people," *IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics*, pp. 3918–3923, 2014.
- [84] Y. Chen, J. Yang, and J. Qian, "Recurrent neural network for facial landmark detection," *Neurocomputing*, vol. 219, pp. 26–38, 2017.
- [85] J. Wehrmann, G. Simões, R. Barros, and V. Cavalcante, "Adult content detection in videos with convolutional and recurrent neural networks," *Neurocomputing*, pp. 1–7, 2017.
- [86] X. Wang, H. Ma, and P. Stanimirović, "Recurrent neural network for computing the W-weighted Drazin inverse," *Applied Mathematics and Computation*, vol. 300, pp. 1–20, 2017.
- [87] J. Holland, *Adaptation in natural and artificial systems: An introductory analysis with applications to biology, control, and artificial intelligence*. University of Michigan Press, 1975.
- [88] A. Carvalho, "A cooperative coevolutionary genetic algorithm for learning bayesian

- network structures,” *Proceedings of the 13th Annual Genetic and Evolutionary Computation Conference*, no. 1, pp. 1131–1138, 2011.
- [89] M. Potter and K. De Jong, “A cooperative coevolutionary approach to function optimization,” *Proceedings of the International Conference on Evolutionary Computation*, pp. 249–257, 1994.
- [90] L. Antonio, “Uso de algoritmos evolutivos multi-objetivo para resolver problemas con un gran número de variables de decisión,” tesis maestría, Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional, 2013.
- [91] D. Curran and C. O’Riordan, “Applying evolutionary computation to designing neural networks,” 2002. [Online]. Available: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.13.3237&rep=rep1&type=pdf>.
- [92] D. Floreano and J. Urzelai, “Evolutionary robots with on-line self-organization and behavioral fitness,” *Neural Networks*, vol. 13, pp. 431–443, 2000.
- [93] M. Mandischer, “Representation and Evolution of Neural Networks,” *Artificial Neural Nets and Genetic Algorithms*, pp. 643–649, 1993.
- [94] T. Praczyk, “Using assembler encoding to solve inverted pendulum problem,” *Computing and Informatics*, vol. 28, pp. 895–912, 2009.
- [95] D. Curran and C. O’Riordan, “Increasing population diversity through cultural learning,” *Adaptive Behavior*, vol. 14, no. 4, pp. 315–338, 2006.
- [96] J. Schaffer, D. Whitley, and L. Eshelman, “Combinations of genetic algorithms and neural networks: a survey of the state of the art,” *International Workshop on Combinations of Genetic Algorithms and Neural Networks*, pp. 1–37, 1992.
- [97] G. Miller, P. Todd, and S. Hegde, “Designing neural networks using genetic algorithms,” *Proceedings of the 3rd International Conference on Genetic Algorithms*, pp. 379–384, 1989.
- [98] X. Yao and Y. Liu, “A new evolutionary system for evolving artificial neural networks,” *IEEE transactions on neural networks*, vol. 8, no. 3, pp. 694–713, 1997.
- [99] N. García, C. Hervás, and J. Muñoz, “Multi-objective cooperative coevolution of artificial neural networks,” *Neural Networks*, vol. 15, no. 10, pp. 1259–1278, 2002.
- [100] K. Ohkura, T. Yasuda, Y. Kawamatsu, Y. Matsumura, and K. Ueda, “MBEANN: Mutation-based evolving artificial neural networks,” *Neural Networks*, pp. 936–945, 2007.
- [101] A. Azzini and A. Tettamanzi, “A new genetic approach for neural network design and

optimization,” tesis doctoral, Universidad de Milán, 2008.

- [102] T. Praczyk, “Neural anti-collision system for autonomous surface vehicle,” *Neurocomputing*, vol. 149, pp. 559–572, 2015.
- [103] P. García, “Reconocimiento de imágenes utilizando redes neuronales artificiales,” tesis de maestría, Universidad Complutense de Madrid, 2013.
- [104] E. Smirnov, D. Timoshenko, and S. Andrianov, “Comparison of regularization methods for imagenet classification with deep convolutional neural networks,” *2nd Conference on Computational Intelligence and Bioinformatics Comparison*, vol. 6, pp. 89–94, 2014.
- [105] C. Chen, H. Xiang, T. Qiu, C. Wang, Y. Zhou, and V. Chang, “A rear-end collision prediction scheme based on deep learning in the internet of vehicles,” *Parallel and Distributed Computing*, 2017.
- [106] J. Liang, Z. Sha, and L. Chen, “Dynamic neural network-based integrated learning algorithm for driver behavior,” *Journal of Transportation Systems Engineering and Information Technology*, vol. 12, no. 2, pp. 34–40, 2012.
- [107] H. Duan and L. Huang, “Imperialist competitive algorithm optimized artificial neural networks for UCAV global path planning,” *Neurocomputing*, vol. 125, pp. 166–171, 2014.
- [108] M. Beyeler, N. Oros, N. Dutt, and J. Krichmar, “A GPU-accelerated cortical neural network model for visually guided robot navigation,” *Neural Networks*, vol. 72, pp. 75–87, 2015.
- [109] G. Capi, “Development of a new robotic system for assisting and guiding visually impaired people,” *IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics*, pp. 229–234, 2012.
- [110] J. Mosquera and D. Rodríguez, “Sistema de reconocimiento de obstáculos para movilidad de Invidentes,” tesis de ingeniería, Universidad del Cauca, 2014.