



Grau en Enginyeria Informàtica de Gestió i Sistemes d'Informació

Diseño y desarrollo de una solución para personas con discapacidades visuales

Memoria

Albert Loma Fernández

TUTOR: Jaume Teodoro

CURSO 2021-2022



Dedicatoria

A todas aquellas personas que no pueden ver el mundo con sus propios ojos.

Agradecimientos

A mi tutor Jaume Teodoro por enseñarme a entender a las personas para poder crear lo que realmente necesitan.

A toda la familia, amigos y personas que han hecho este trabajo posible. Gracias.

ABSTRACT

This research work focuses on the development of a technological solution to help improve the mobility of visually impaired people. Throughout the report, a product based on augmented reality technologies will be designed to scan the environment and a physical device will be manufactured to help transmit the information obtained.

RESUM

Aquest treball de recerca es centra en el desenvolupament d'una solució tecnològica que ajudi a millorar la mobilitat de persones amb discapacitats visuals. Al llarg de la memòria es dissenyarà un producte basat en tecnologies de realitat augmentada que s'encarregaran de l'escaneig d'entorn i es fabricarà un dispositiu físic que ajudi a transmetre la informació obtinguda.

RESUMEN

Este trabajo de investigación se centra en el desarrollo de una solución tecnológica que ayude a mejorar la movilidad de personas con discapacidades visuales. A lo largo de la memoria se diseñará un producto basado en tecnologías de realidad aumentada que se encargue del escaneo de entorno y se fabricará un dispositivo físico que ayude a transmitir la información obtenida.

ÍNDICE

ÍNDICE DE FIGURAS.....	v
ÍNDICE DE TABLAS.....	vii
CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO	3
2.1. ANTECEDENTES	3
2.2. SOLUCIONES TRADICIONALES.....	4
2.3. SOLUCIONES TECNOLÓGICAS Y DE MERCADO.....	5
2.3.1. ELECTRÓNICA EN BASTONES	5
2.3.2. VISIÓN ARTIFICIAL	6
2.3.3. INTELIGENCIA ARTIFICIAL.....	9
2.4. POSIBILIDADES TECNOLÓGICAS	10
2.4.1. REALIDAD AUMENTADA.....	10
2.4.2. SERVICIOS DE COMPUTER VISION	13
2.4.3. MICROCONTROLADORES	15
2.4.4. WEARABLES	15
2.4.5. HAPTIC FEEDBACK	16
2.5 INVESTIGACIÓN ETNOGRÁFICA	17
2.5.1 ENTREVISTAS Y OBSERVACIONES	17
2.5.2 AGRUPACIÓN DE USUARIOS	19

2.5.3 MAPA DE EMPATÍA	21
CAPÍTULO 3. METODOLOGÍA	23
CAPÍTULO 4. DISEÑO DE LA SOLUCIÓN	27
4.1 SELECCIÓN DE LA IDEA	27
4.2 CONCEPTUALIZACIÓN	30
4.3 PROPUESTA DE VALOR	31
CAPÍTULO 5. OBJETIVOS Y ALCANCE	33
5.1. NECESIDADES DEL USUARIO	33
5.2. OBJETIVOS DEL PRODUCTO.....	33
5.3. PÚBLICO POTENCIAL.....	34
5.4. ALCANCE	34
CAPÍTULO 6. DEFINICIÓN DE REQUERIMIENTOS FUNCIONALES I TECNOLÓGICOS	35
6.1 REQUERIMIENTOS PREVIOS	35
6.2 REQUERIMIENTOS FUNCIONALES	35
6.3 REQUERIMIENTOS NO FUNCIONALES.....	36
CAPÍTULO 7. DESARROLLO.....	37
7.1 CASOS DE USO.....	37
7.1.1 CASO DE USO – CONEXIÓN BLUETOOTH.....	37
7.1.2 CASO DE USO – INFORME DEL ENTORNO.....	39
7.1.3 CASO DE USO – REALIZAR CONFIGURACIÓN	41

7.2 DESARROLLO APP MOVIL.....	43
7.2.1 DISEÑO DE LA APLICACIÓN	44
7.2.2 MESHING 3D CON LIDAR	45
7.2.3 RAYCASTING	48
7.2.4 INTERFAZ DE USUARIO	50
7.3 DESARROLLO HARDWARE.....	51
7.3.1 MICROCONTROLADOR ESP32.....	51
7.3.2 CONEXIÓN BLUETOOTH LOW ENERGY.....	52
7.3.3 ESQUEMA ELÉCTRICO.....	54
7.3.4 MOTORES DE VIBRACIÓN	55
7.3.5 SOPORTE MÓVIL	56
7.3.6 COSTES DE FABRICACIÓN.....	57
7.3.7 FABRICACIÓN DEL CHALECO	57
CAPÍTULO 8. CONCLUSIONES.....	61
8.1 VALORACIONES	61
8.2 FUTURAS AMPLIACIONES	63
CAPÍTULO 9. BIBLIOGRAFIA.....	65

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Colores de bastón según discapacidad visual. Fuente: [5].....	4
Figura 2. WeWalk Smart Cane. Fuente: [7]	6
Figura 3. Representación geométrica de medición laser y computer visión. Fuente: [8]	7
Figura 4. Sistema de aviso de movilidad con cámara móvil. Fuente: [11].....	8
Figura 5. Ejemplo de detección de obstáculos con IA. Fuente: [12].....	9
Figura 6. Ejemplo de 3D Meshing con ARKit. Fuente: [13]	10
Figura 7. Microsoft HoloLens con Realidad Aumentada. Fuente: [14]	11
Figura 8. Funcionalidades compatibles por plataforma en AR Foundation. Fuente: [15] ..	12
Figura 9. Ejemplo de Object detection con OpenCV. Fuente: [20]	14
Figura 10. Mapa de agrupación de usuarios. Fuente: Elaboración propia	19
Figura 11. Mapa de Empatía Low-Vision Adopters. Fuente: Elaboración propia	21
Figura 12. Las 9 herramientas de Toolboard Canvas. Fuente: [1]	23
Figura 13. Fases de convergencia y divergencia en diseño. Fuente: [1]	24
Figura 14. Proceso creativo de Toolboard Canvas. Fuente: [1]	24
Figura 15. Concept White Jacket. Fuente: Elaboración propia	30
Figura 16. Business Model Canvas White Jacket. Fuente: Elaboración propia	31
Figura 17. Diagrama de secuencia conexión Bluetooth. Fuente: Elaboración propia.....	38
Figura 18. Diagrama de secuencia informe de entorno. Fuente: Elaboración propia	40
Figura 19. Diagrama de secuencia realizar configuración. Fuente: Elaboración propia.....	42
Figura 20. Jerarquía AR y meshing 3D. Fuente: Elaboración propia	45

Figura 21. Configuración Mesh Manager. Fuente: Elaboración propia.....	45
Figura 22. Configuración Mesh Classification. Fuente: Elaboración propia.....	46
Figura 23. 3D meshing test. Fuente: Elaboration propia.....	47
Figura 24. Configuración Raycasting. Fuente: Elaboración propia	48
Figura 25. Raycasting test. Fuente: Elaboración propia.....	49
Figura 26. Raycasting con 3D meshing test. Fuente: Elaboración propia	49
Figura 27. Interfaz de usuario de White Jacket App. Fuente: Elaboración propia.....	50
Figura 28. Estructura jerárquica GATT. Fuente: [29].....	52
Figura 29. Esquema eléctrico White Jacket. Fuente: Elaboración propia.....	54
Figura 30. Control de motores de vibración con Esp32. Fuente: Elaboración propia	55
Figura 31. Modelo 3D soporte móvil. Fuente: Elaboración propia	56
Figura 32. Motor de vibración soldado y cosido. Fuente: Elaboración propia	57
Figura 33. Cableado interno del chaleco. Fuente: Elaboración propia	58
Figura 34. Cableado de microcontrolador ESP32. Fuente: Elaboración propia	58
Figura 35. Acabado final de White Jacket. Fuente: Elaboración propia.....	59

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Bechmarking soluciones posibles. Fuente: Elaboración propia	28
Tabla 2. Estructura de servicios y características BLE. Fuente: Elaboración propia.....	53
Tabla 3. Instrucciones Bluetooth. Fuente: Elaboración propia	53
Tabla 4. Consumo de componentes hardware. Fuente: Elaboración propia	54
Tabla 5. Costes de fabricación White Jacket. Fuente: Elaboración propia	57

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN

Este TFG parte de un reto: mejorar la calidad de vida de personas con problemas de visión. En concreto el problema de partida que propone solucionar es el de la movilidad y desplazamiento autónomo de estas personas tanto en espacios interiores como exteriores.

El avance de las tecnologías y el desarrollo de soluciones a medida ha permitido que las personas mejoren su calidad de vida de una manera significativa. Sin embargo, cuando se trata de personas con discapacidad, muchas veces no se realiza una investigación adecuada a las necesidades reales del usuario y se prefiere crear dispositivos más innovadores, desde una perspectiva académica, que funcionales y robustos para el usuario final. Una prueba de ello es que, a pesar de la cantidad de intentos y herramientas desarrolladas, no se ha logrado generar un producto tecnológico que destaque por encima del resto y cubra las necesidades principales de la población.

A partir de una comprensión profunda del problema se quiere innovar aprovechando las posibilidades de las nuevas tecnologías y del mercado. Se trata en última instancia de entregar una solución atractiva en el sentido de que mejore la situación actual, a la vez que viable de llevar a cabo en términos económicos y factible de realizar a partir del conocimiento científico-tecnológico del momento y otras consideraciones legales, sociales o ambientales.

Des de un principio se persigue llevar a cabo un proyecto de emprendimiento e innovación que se base en el diseño y en concreto en design thinking [1]. Es decir, en concebir la solución a partir de una investigación centrada en las necesidades del cliente/usuario, para acabar entregando un producto que funcione para estas a la vez que genere valor para las organizaciones que lo produzcan.

Para afrontar el proceso de emprendimiento e innovación de ese modo se adopta Design Thinking ToolBoard Canvas [1] como metodología práctica de diseño que acaba entregando una iniciativa lista para ser invertida.

CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO

En esta sección se hará una aproximación teórica al problema, empezando por entender las necesidades de los usuarios y se continuará estudiando las posibilidades tecnológicas y las soluciones ya existentes. Finalmente se realizará un estudio etnográfico que ayudará a empatizar con los mismos usuarios.

2.1. ANTECEDENTES

La visión es el sentido más predominante, ya que es el que capta mayor información del entorno. Es por este motivo que los espacios públicos, las economías, los sistemas educativos y las sociedades como tal basan su organización alrededor del sentido de la vista.

Sin embargo, según la Organización Mundial de la Salud, existen alrededor del mundo un total de 2200 millones de personas con deterioro de la visión cercano o distante [2]. De esta cifra se estima que 246 millones padecen deficiencias visuales graves y otras 39 millones son completamente ciegas [3].

La ONCE dice que el 80% de la información necesaria para la vida requiere de la vista y destaca que gran parte de habilidades adquiridas por una persona se obtienen a partir de información visual. A partir de aquí define la discapacidad visual como la consideración de la disminución total o parcial de la vista que se mide a través de tres parámetros: la capacidad lectora de cerca y lejos, el campo visual y la agudeza visual [4].

Gracias a las labores sociales realizadas en los últimos años se ha podido investigar ampliamente en este tipo enfermedades, realizando grandes avances que han permitido cambiar las vidas de muchos sujetos. Además, se ha conseguido dar visibilidad a este colectivo y se ha puesto en la mente de grandes empresas que los tienen presentes a la hora de diseñar sus productos y servicios e incorporan numerosas opciones de accesibilidad o desarrollan adaptaciones propias para cada tipo de usuario.

Es ahora el momento de dejar de adaptar productos y crear uno exclusivamente para este colectivo que le permita tener las mismas oportunidades que el resto de personas y la tecnología cumpla el cometido para el que fue concebida: mejorar la calidad de vida.

2.2. SOLUCIONES TRADICIONALES

Uno de los principales retos para una persona con discapacidad visual es el desplazamiento. Existe un gran peligro especialmente si se trata de zonas desconocidas. Para ello, históricamente surgen dos herramientas indispensables para facilitar la navegación.

El primero es el bastón blanco, una vara ligera que identifica a las personas ciegas y que gracias a su punta rodante da información del terreno de manera directa al usuario. Cumple con tres características básicas: distinción, protección e información. Sin embargo, tiene sus propias limitaciones, la principal es que solo puede medir obstáculos a 1,5 metros de distancia y no sirve para detectarlos sobre el nivel de la cintura [3]. Aun así, es una herramienta indispensable, ya que aporta seguridad y confianza a la persona para desplazarse con autonomía.



Figura 1. Colores de bastón según discapacidad visual. Fuente: [5]

Además, como podemos ver en la Figura 1 el color del bastón ayuda a diferenciar el tipo de discapacidad. El bastón blanco identifica personas ciegas, el bastón rojo y blanco a personas sordociegas, el bastón verde engloba a las personas con algún problema de visión grave y finalmente el bastón amarillo es equivalente al bastón verde, pero en países de América Latina. [5]

La segunda solución son los perros lazarillos, capaces de guiar a una persona de una manera segura y más rápida en comparación con el bastón blanco. Aunque sus limitaciones son más latentes, ya que se requiere de un tiempo de adiestramiento del animal y un posterior cuidado que se dificulta para personas con discapacidad visual [3].

2.3. SOLUCIONES TECNOLÓGICAS Y DE MERCADO

El problema que se pretende solucionar ha sido objeto de trabajo de instituciones y empresas. En este sentido existen iniciativas diversas, algunas en mercado y otras más experimentales. Todas ellas se basan en el uso de la tecnología para crear una solución más deseable, en el sentido de mejor en cuanto al beneficio del usuario. A continuación, se citan las más relevantes.

2.3.1. ELECTRÓNICA EN BASTONES

La electrónica en bastones consiste en la incorporación de tecnologías de asistencia en bastones. Las principales soluciones encontradas [6] centran sus esfuerzos en utilizar sensores ultrasónicos para medir distancias y conseguir así detectar obstáculos con anticipación. Para notificar al usuario de dichos obstáculos se utilizan alertas auditivas y vibratorias.

Empleando el mismo principio de detección ultrasónica también se han hallado soluciones que utilizan otros elementos como sombreros o chalecos para la notificación del peligro. [6]

También se han hallado soluciones que amplían la funcionalidad de los bastones usando la tecnología GPS (Global Positioning System) en aplicaciones específicas con fines tales como guiar al usuario a un lugar concreto o conocer su ubicación exacta en todo momento enviándola por internet.

El proyecto de mayor relevancia a nivel internacional es el '*WeWalk Smart Cane*' [7], un bastón inteligente que se vincula por Bluetooth a una app de móvil y advierte al usuario de los obstáculos a baja altura mediante pulsos de vibración. Además, el bastón es capaz de hacer una gestión completa de la ubicación del usuario, permitiéndole realizar diferentes acciones como: navegación accesible con indicaciones de un asistente de voz incorporado, consultas de navegación integradas con el transporte público, consultas de lugares como tiendas o restaurantes y una configuración personalizada de la notificación de obstáculos que realiza el bastón. Cabe destacar que es de los pocos proyectos que ha logrado convertirse en un producto comercial debido a la dificultad de competir con la sencillez del bastón tradicional.



Figura 2. WeWalk Smart Cane. Fuente: [7]

2.3.2. VISIÓN ARTIFICIAL

La visión artificial o computer vision es una disciplina científica que se encarga de obtener, procesar y analizar imágenes con el fin de obtener información relevante que puede ser aplicada en diferentes ámbitos.

Para una persona con discapacidad visual, esta rama de la tecnología es especialmente interesante, ya que es capaz de realizar tareas como: detección de objetos, lectura de información escrita o impresa, detección de personas, detección de rostros, entre otros.

Además, el amplio desarrollo realizado en los smartphones ha permitido que esta tecnología sea portable y usable para todo aquel que cuente con un sensor de cámara. Esto ha desembocado en multitud de soluciones para personas con discapacidad, por ahora mayoritariamente solo en el ámbito académico, que innovan utilizando la visión artificial como base.

Se encuentran diferentes estudios como el desarrollo de “*bastones artificiales*” [8] que intentan sustituir el bastón tradicional por un móvil. Para conseguirlo utilizan computer vision para detectar el punto de un láser a través de la cámara y después medir la distancia hacia dicho punto y notificar al usuario.

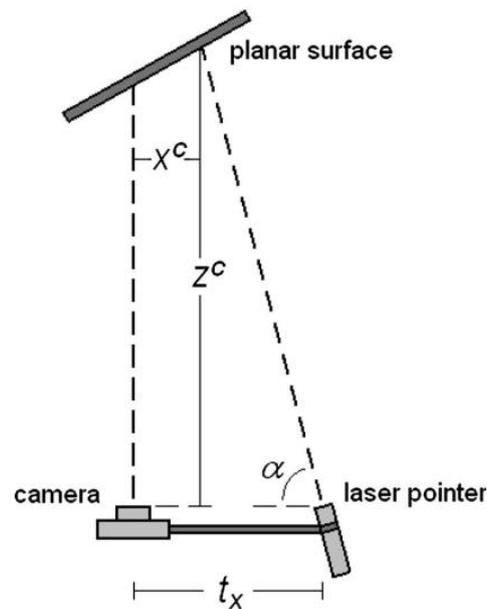


Figura 3. Representación geométrica de medición láser y computer visión. Fuente: [8]

Otra aplicación interesante es el uso de la detección de rostros gracias a la visión artificial. Se presenta el siguiente estudio [9], donde se utiliza dicha técnica para ayudar a personas ciegas o con problemas de visión a detectar la presencia de personas conocidas y lograr que sus relaciones sociales sean más naturales.

Una aplicación de gran utilidad que se le da a la visión artificial es el escaneo de documentos escritos para obtener el texto. Este es el caso de [10], esta vez un producto comercial en forma de aplicación de móvil específicamente diseñada para personas ciegas o con baja visión que es capaz de escanear documentos y narrarlos mediante voz generada por ordenador (Text-to-speech).

Retornando al problema de la movilidad, el siguiente estudio [11] utiliza la visión artificial para mejorar la navegación autónoma de individuos con baja visión o ciegos en ámbitos urbanos. El software desarrollado para dispositivos móviles es capaz de discernir entre objetos estáticos y dinámicos para posteriormente clasificarlos en función de si son obstáculos, peatones, vehículos, bicicletas, etc. Además, es capaz de ordenarlos en base a la relevancia que puedan tener para una persona ciega y la situación planteada. El principal inconveniente de dicho sistema se encuentra en que los resultados pueden ser muy variables en función de las condiciones de luz en las que se utilice y la calidad de la cámara con la que se capture.



Figura 4. Sistema de aviso de movilidad con cámara móvil. Fuente: [11]

Se puede concluir que la visión por computador es un campo con futuro en el que la academia ha logrado obtener resultados muy prometedores que pueden beneficiar de forma muy significativa a personas ciegas o con baja visión. Sin embargo, se demuestra que la comercialización de muchos de estos estudios es difícil porque no nacen con la concepción de producto y acaban presentando problemas de usabilidad para el usuario final.

2.3.3. INTELIGENCIA ARTIFICIAL

La inteligencia artificial se define como el conjunto de algoritmos que tienen como objetivo igualar o imitar el comportamiento y las capacidades humanas. Uno de los grandes retos de esta es imitar los sentidos humanos y particularmente en este caso, la visión.

El objetivo de aplicar algoritmos de machine learning en soluciones para personas con baja visión es conseguir una mejora de los algoritmos ya existentes de computer vision para obtener unos resultados más precisos.

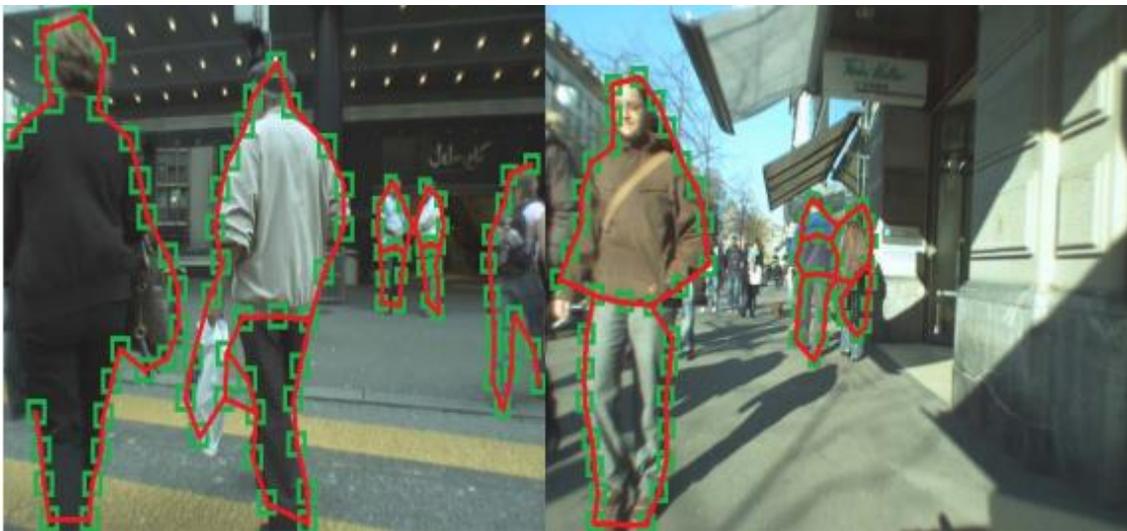


Figura 5. Ejemplo de detección de obstáculos con IA. Fuente: [12]

Un ejemplo de esta aplicación es el siguiente estudio [12], donde se obtiene una mejora considerable de la detección de obstáculos, tanto en precisión como en rendimiento, gracias a una red neuronal que separa los elementos del fondo en imágenes complejas para una mejor clasificación.

2.4. POSIBILIDADES TECNOLÓGICAS

A continuación, se estudiarán las herramientas que proporciona la tecnología que pueden ser relevantes para el desarrollo de una solución para personas con baja visión o ciegas.

2.4.1. REALIDAD AUMENTADA

Se define como el conjunto de tecnologías que permiten la visualización del mundo real con información virtual en el mismo. Para lograr realidad aumentada se requieren de tres condiciones: tridimensionalidad, interactividad en tiempo real y combinación de elementos reales y virtuales.

El principal campo de actuación de la realidad virtual actualmente son los videojuegos, sin embargo, cada vez más industrias como la medicina, el comercio, la educación, el turismo, entre otras, la incorporan como herramienta en sus operaciones.

Es por este motivo que las dos plataformas para dispositivos móviles más relevantes (iOS y Android) han desarrollado sus propias APIs para que los desarrolladores creen sus experiencias en realidad virtual.

En el caso de iOS, Apple cuenta con ARKit [13] que proporciona herramientas únicas que sacan partido a los sensores de la cámara del iPhone y iPad para generar experiencias realistas. Algunas de las características que ofrece son: creación de geometría 3D del mundo real, oclusión de personas sobre objetos AR, captura de movimiento, detección de planos y uso simultáneo de cámara frontal y trasera. Cabe destacar que algunas de estas características solo están disponibles en las versiones más recientes de los dispositivos de Apple.

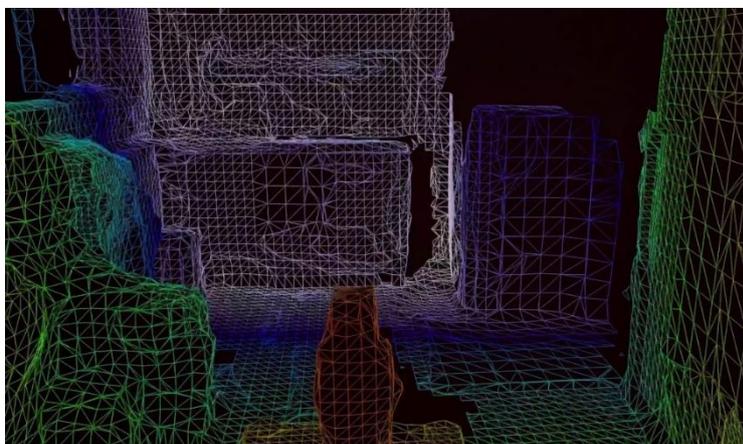


Figura 6. Ejemplo de 3D Meshing con ARKit. Fuente: [13]

Para Android, Google proporciona ARCore, una API para el desarrollo de realidad aumentada y mixta que además de estar disponible en Android, también lo está para los motores gráficos Unity y Unreal Engine. Sin embargo, las funcionalidades respecto a su competidor ARKit son más limitadas debido a que ha mantenido la compatibilidad con un mayor número de dispositivos y sensores.

Además de móviles, la siguiente plataforma donde la realidad aumentada y mixta están ganando importancia son las Smart Glasses, unas gafas capaces de reflejar imágenes virtuales en la lente para integrarlas con el mundo real.

En este campo destaca la solución “*Microsoft HoloLens*” que proporciona una experiencia de realidad mixta que permite mostrar objetos tridimensionales y en forma de HUD integrado con el mundo real gracias a múltiples sensores de medición del entorno. Se orienta a la mejora de la productividad y, por lo tanto, a un público profesional. Su competidor directo es la empresa “*MagicLeap*” que también ofrece una solución similar orientada al mismo segmento de mercado.

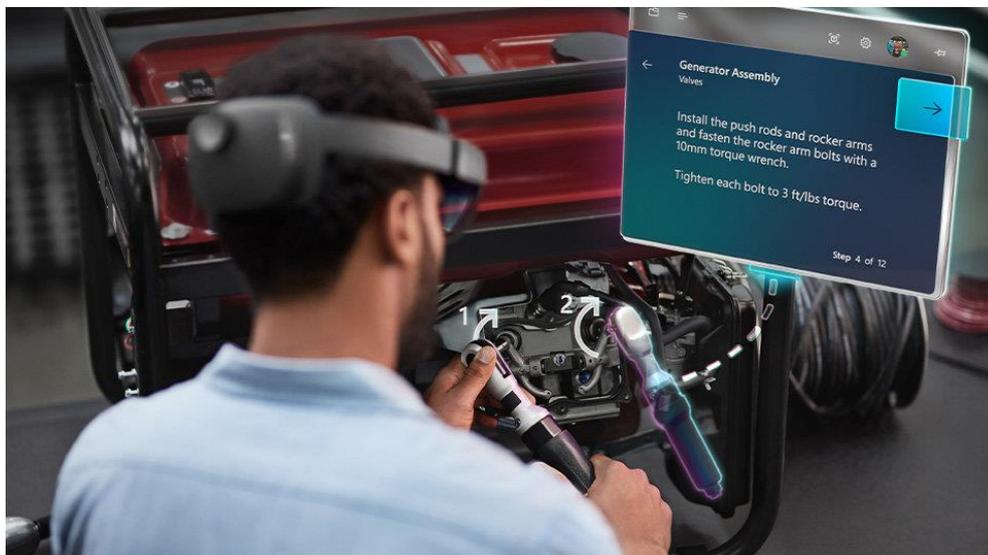


Figura 7. Microsoft HoloLens con Realidad Aumentada. Fuente: [14]

Finalmente, el motor gráfico Unity ofrece una solución para crear experiencias de realidad virtual multiplataforma a través de AR Foundation. Dicha solución no implementa funcionalidades de realidad virtual, sino que sirve como API de alto nivel que ejecuta los métodos necesarios en función de la plataforma donde se ejecute. Esto permite crear una única experiencia de realidad virtual que puede compilarse en todas sus plataformas compatibles, actualmente: ARCore, ARKit, Magic Leap y HoloLens. Sin embargo, existen diferencias en la cantidad de funcionalidades específicas que implementa cada plataforma y, por lo tanto, que no pueden ser usadas por AR Foundation.

	ARCore	ARKit	Magic Leap	HoloLens
Device tracking	✓	✓	✓	✓
Plane tracking	✓	✓	✓	
Point clouds	✓	✓		
Anchors	✓	✓	✓	✓
Light estimation	✓	✓		
Environment probes	✓	✓		
Face tracking	✓	✓		
2D Image tracking	✓	✓	✓	
3D Object tracking		✓		
Meshing		✓	✓	✓
2D & 3D body tracking		✓		
Collaborative participants		✓		
Human segmentation		✓		
Raycast	✓	✓	✓	
Pass-through video	✓	✓		
Session management	✓	✓	✓	✓
Occlusion	✓	✓		

Figura 8. Funcionalidades compatibles por plataforma en AR Foundation. Fuente: [15]

2.4.2. SERVICIOS DE COMPUTER VISION

La combinación de algoritmos tradicionales y su posterior mejora con inteligencia artificial ha propiciado el surgimiento de servicios comerciales de computer vision en forma de APIs para que cualquier desarrollador pueda aplicar estos algoritmos en su solución sin tener amplios conocimientos al respecto.

Los principales servicios son:

- **Azure Cognitive Services:** Es una API de la empresa Microsoft que permite a los desarrolladores utilizar la inteligencia artificial de sus servidores para procesar datos visuales, sonoros, o relacionados con la toma de decisiones para ser implementado en diversas aplicaciones de forma rápida y sencilla [16]. En cuanto al procesamiento de imágenes se refiere cuenta con servicios de:
 - Reconocimiento facial
 - Computer Vision
 - Custom Vision (Detección de imágenes adaptado a un negocio concreto)
- **Google Vision:** Es una API de Google que proporciona diferentes utilidades relacionadas con el procesamiento de imágenes mediante modelos de Inteligencia artificial [17]. Es capaz de:
 - Detectar objetos y caras
 - Leer texto impreso o manuscrito
 - Conseguir metadatos para un catálogo de imágenes propio
- **Amazon Rekognition:** Es una API desarrollada por Amazon que es capaz de realizar diferentes análisis de imágenes y videos mediante Inteligencia Artificial [18]. Cuenta con las diferentes características:
 - Moderación de contenido
 - Comparación y búsqueda de rostros
 - Análisis de rostros
 - Búsqueda de etiquetas
 - Búsqueda de etiquetas personalizadas
 - Detección de texto
 - Reconocimiento de celebridades
 - Detección de segmentos de video

- Detección de equipo de protección personal

Todas estas soluciones son comerciales y por lo tanto tienen sus cuotas y limitaciones de uso.

La alternativa de uso libre más extendida es OpenCV. Esta solución (originalmente desarrollada por Intel) es la biblioteca de código libre más popular y usada hasta la fecha en lo que a Computer Vision se refiere [19]. Sus áreas de acción son las siguientes:

- Características 2D y 3D
- Estimación de pose de cámara
- Reconocimiento facial
- Reconocimiento de gestos
- Interacción persona-computadora
- Robótica móvil
- Comprensión de movimientos
- Reconocimiento de objetos
- Segmentación
- Estereoscopía
- Structure from motion (SFM)
- Tracking
- Realidad aumentada

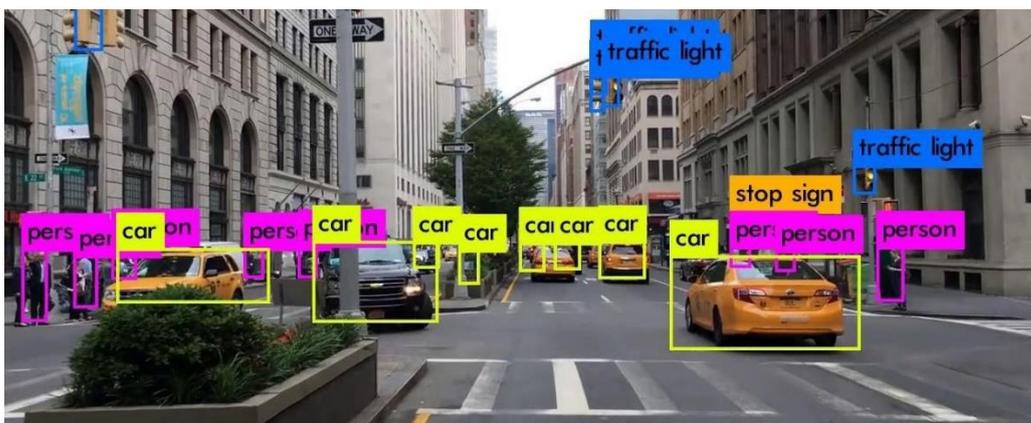


Figura 9. Ejemplo de Object detection con OpenCV. Fuente: [20]

Como puede observarse, la cantidad de funcionalidades y la versatilidad de poder modificar el algoritmo base presentan una clara ventaja frente a sus competidores.

2.4.3. MICROCONTROLADORES

La evolución en el mundo de los gadgets y el internet de las cosas ha propiciado el nacimiento de plataformas open source que permiten a un usuario crear sus propias soluciones y prototipos electrónicos. Las dos plataformas más extendidas son Arduino y Raspberry Pi que cuentan con cientos de sensores y actuadores para todo tipo de aplicaciones.

Arduino es una compañía que se encarga de generar software y hardware libre. Posee una gama de microcontroladores que permiten realizar proyectos electrónicos para interactuar con el mundo real a partir de sensores y actuadores de forma sencilla y completa tanto para principiantes como para profesionales. [21]

Por otra parte, Raspberry Pi es una fundación que posee una serie de ordenadores de bajo coste. Inicialmente, tenían como objetivo servir como gama de entrada a la informática y creación digital. Sin embargo, con el tiempo se especializaron en domótica y robótica hasta convertirse en un elemento principal del IoT. Raspberry también cuenta con una gran cantidad de sensores y actuadores que le permiten interactuar con el mundo real. [22]

2.4.4. WEARABLES

Los wearables son dispositivos electrónicos que pueden ser llevados en diferentes partes del cuerpo y que permiten tanto la interacción por parte del usuario como la captura de datos del mundo de manera autónoma. Pueden encontrarse como accesorio o incorporarse en industrias profesionales.

El dispositivo wearable más extendido es el “*SmartWatch*” o reloj inteligente, que es capaz de medir diferentes datos biométricos y servir como: asistente de notificaciones, asistente en actividades deportivas, controlador remoto, etc.

Otra aplicación relevante es la “*Wearable technology*”, también conocida como electrónica textil, son dispositivos incorporados en la vestimenta capaces de captar información corporal y transmitirla a través de actuadores.

2.4.5. HAPTIC FEEDBACK

Los dispositivos electrónicos transmiten información esencialmente por dos sentidos: vista y oído. El haptic feedback se resume como la respuesta que da un dispositivo a una interacción táctil. Sin embargo, el haptic feedback pretende estimular el sistema somatorio que cuenta con 12 receptores especializados que envían información como vibración, presión, temperatura, dolor, etc. De esta manera la cantidad y precisión de información que recibe el usuario es mayor a una respuesta visual y sonora [23].

2.5 INVESTIGACIÓN ETNOGRÁFICA

A lo largo de este apartado se estudiarán los comportamientos humanos y sociales de personas con algún tipo de discapacidad visual con el fin de detectar problemas y necesidades. El objetivo es realizar una segmentación de los usuarios y empatizar con una parte de ellos para conseguir diseñar una solución que se ajuste a sus necesidades.

Para esta investigación se emplearán diferentes métodos y herramientas basadas en *Design Thinking Toolboard Canvas* [1].

2.5.1 ENTREVISTAS Y OBSERVACIONES

El primer paso para diseñar una solución es entender el problema en el que se está tratando de profundidad. Por este motivo, inicialmente se seleccionará a un grupo de personas que están relacionadas con el problema directa o indirectamente. Este grupo será denominado: “Stakeholders”.

Para esta investigación se seleccionan personas ciegas y con problemas de visión en mayor o menor grado, además de personas relacionadas como cuidadores, psicólogos y asociaciones, con el fin de hablar personalmente con ellos y extraer información esencial de cada parte.

Las observaciones extraídas son las siguientes:

- El bastón guía es una solución económica y funcional, difícilmente sustituible.
- El bastón guía es identificativo y alerta a las demás personas de la presencia de alguien ciego o con discapacidad visual.
- El bastón guía no ha sufrido grandes cambios en su diseño desde su aparición histórica.
- El bastón guía tiene limitaciones como:
 - Distancia de detección corta.
 - Detección de obstáculos únicamente en la parte inferior del torso.
- Existen accidentes de gente ciega con obstáculos a media altura.

- El perro lazarillo es una solución atractiva, pero tiene limitaciones como:
 - Requieren entrenamiento previo.
 - Requieren cuidados que son difíciles de llevar a cabo para una persona ciega.
 - Detección de obstáculos únicamente en la parte inferior del torso
 - En ocasiones pueden ser imprevisibles y llevar a situaciones peligrosas.
- Existen accidentes con perros guía.
- Muchas personas ciegas son reacias a pedir ayuda.
- Las personas ciegas o con discapacidades visuales desean tener autonomía.
- Existen numerosas ayudas de accesibilidad para personas con discapacidad visual parcial.
- Las personas con problemas visuales de menor edad son más partidarias de utilizar la tecnología como ayuda.
- Existe financiación para proyectos que innoven en el campo de la accesibilidad para personas ciegas de la mano de asociaciones o ayudas estatales.
- Las personas ciegas o con discapacidades visuales son capaces de desarrollar más otro tipo de sentidos.
- La Once es la asociación de personas discapacitadas más grande de España y cuenta con un conglomerado de empresas sociales propio.
- Gracias a asociaciones, las personas con este tipo de dificultades pueden ponerse en contacto entre ellas para compartir experiencias y consejos.

2.5.2 AGRUPACIÓN DE USUARIOS

Para clasificar a los usuarios se realizará una agrupación de los mismos en función de dos parámetros detectados como más significativos.

El primer parámetro es el grado de discapacidad de los usuarios. El grado de visión hace que cambien completamente las necesidades o problemas que se puedan presentar.

El segundo parámetro tiene que ver con la facilidad de adaptarse a una solución tecnológica nueva. La llamada resiliencia de los usuarios puede afectar de manera directa a la adaptación a una solución que tenga una base en la tecnología.

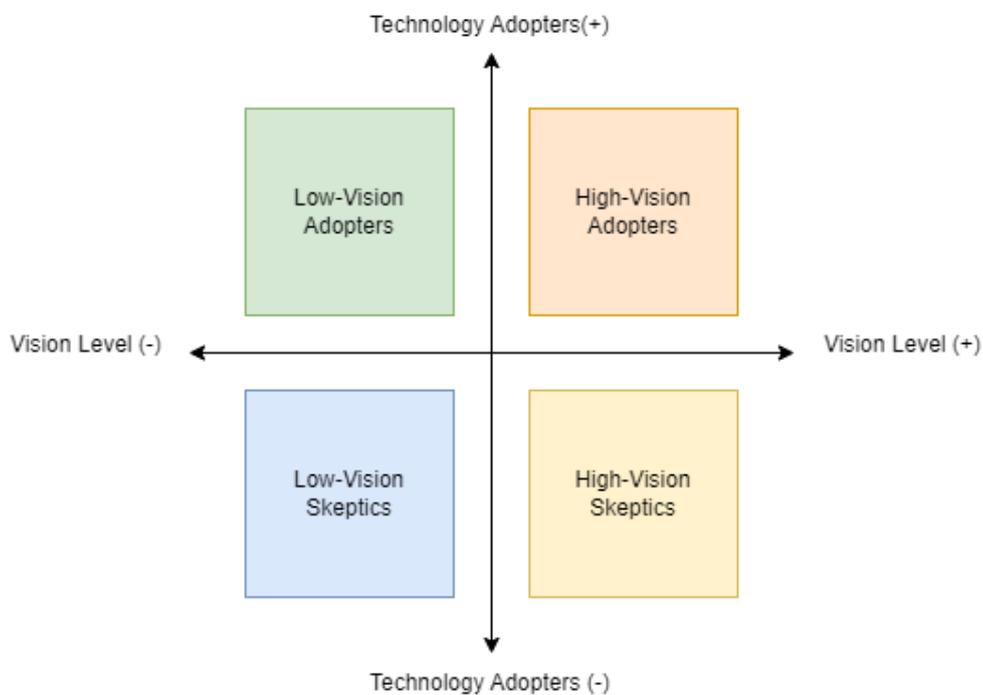


Figura 10. Mapa de agrupación de usuarios. Fuente: Elaboración propia

Se segmentan a los posibles usuarios en función de los parámetros establecidos y se les asigna un nombre identificativo para posteriormente empatizar con sus necesidades.

- **Low-Vision Adopters** – Personas con ceguera total o discapacidad visual severa pero dispuestos a adoptar nuevas soluciones e incorporar la tecnología con fin de mejorar sus condiciones. Se encuentran, sobre todo, problemas de movilidad personal.

- **High-Vision Adopters** – Personas con una discapacidad visual moderada que les permite mantener su autonomía, pero se encuentran con otro tipo de necesidades (lectura, campo de visión, etc.). Están dispuestos a incorporar soluciones tecnológicas en su rutina con tal de mejorar ciertas situaciones.
- **Low-Vision Skeptics** - Personas con ceguera total o discapacidad visual severa escépticos a probar o adaptarse a nuevas tecnologías. Se encuentran, sobre todo, problemas de movilidad personal.
- **High-Vision Skeptics** – Personas con discapacidad visual moderada que les permite mantener su autonomía, pero se encuentran con otro tipo de necesidades (lectura, campo de visión, etc.). No están dispuestos o no se ven capaces de utilizar soluciones tecnológicas para mejorar su situación.

La conclusión que se extrae a partir de la segmentación es la gran diferencia de necesidades que se encuentran los dos grupos de personas en función de su nivel de visión. La solución desarrollada tendrá que centrarse únicamente en uno de los dos espectros de usuarios.

En cuanto a la adopción de la solución, es necesario encontrar a los usuarios más predispuestos a incorporar la tecnología en su vida. De esta manera puede conseguirse que, por influencia, estos adoptadores convencan a los usuarios más escépticos.

2.5.3 MAPA DE EMPATÍA

Se escoge el perfil de usuario Low-Vision Adopter para realizar un mapa de empatía siguiendo los principios de Toolboard Canvas [1] y entender mejor su situación personal y necesidades.

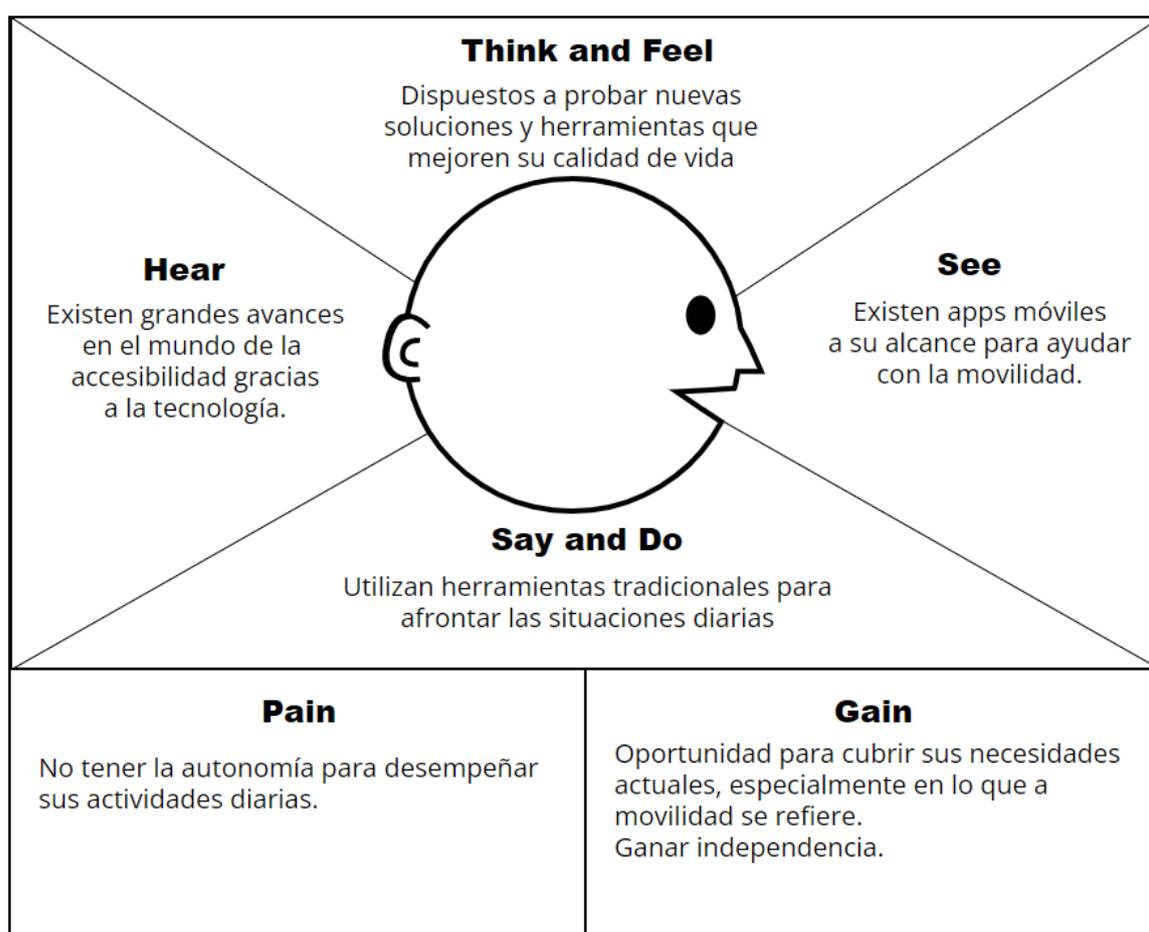


Figura 11. Mapa de Empatía Low-Vision Adopters. Fuente: Elaboración propia

La conclusión extraída del mapa es que es un segmento de usuarios que quiere solucionar un problema tan esencial como el poder valerse por sí mismos. Además, están mentalmente preparados y abiertos a probar y adoptar a las posibles soluciones que se les puedan presentar.

CAPÍTULO 3. METODOLOGÍA

Este proyecto tiene como objetivo crear una solución siguiendo los principios de Human Centered Design [24]. La principal característica de esta metodología es que involucra a los usuarios finales en todas las fases del desarrollo del producto para que este cumpla con sus expectativas y necesidades. Para aplicar de forma eficiente esta forma de trabajar se utilizará el método Design Thinking Toolboard Canvas [1], que permite afrontar el reto de emprendimiento e innovación de principio a fin (es decir desde la investigación al diseño y entrega final de la solución) a partir de un conjunto de nueve herramientas de diseño que de forma secuencial e iterativa permiten acabar entregando una iniciativa lista para ser invertida.

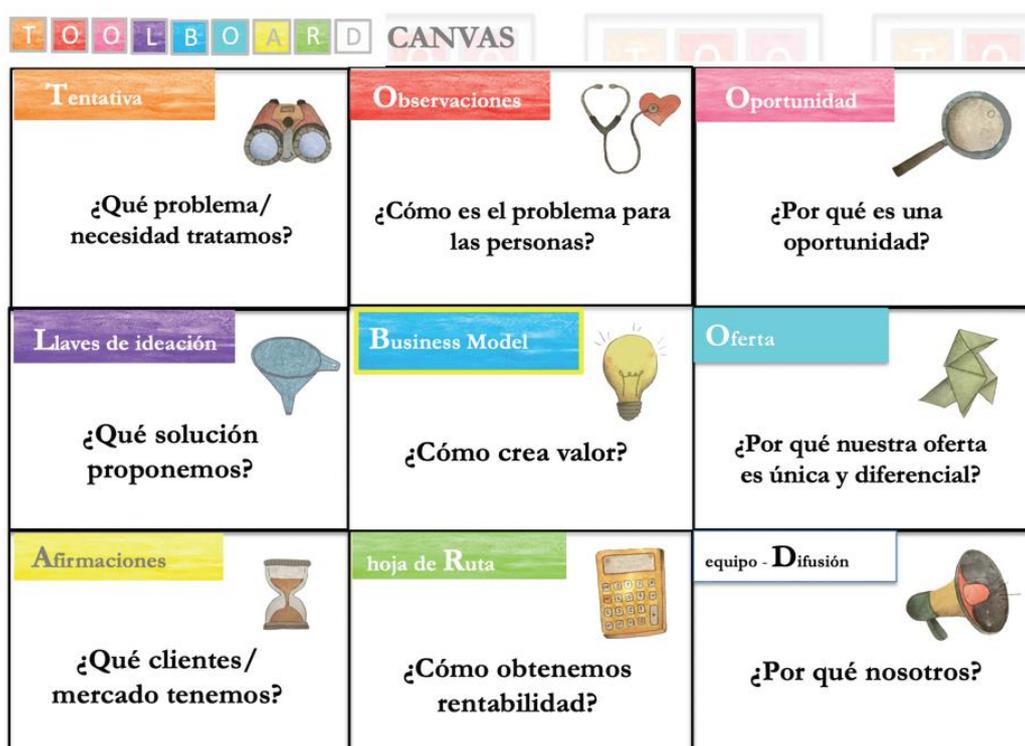


Figura 12. Las 9 herramientas de Toolboard Canvas. Fuente: [1]

Como puede observarse, Toolboard define nueve preguntas a responder, que equivalen a las nueve fases por las que pasa el proyecto para convertirse en una solución emprendedora viable. Además, aporta herramientas y pasos a seguir en cada fase para obtener resultados fiables e información esencial.

Las fases de Toolboard permiten realizar el diseño de una manera natural e intuitiva. Inicialmente se realiza un proceso de divergencia donde se recopila la máxima información posible a través de diferentes fuentes. Una vez completada esta fase se procesa dicha información, se extraen conclusiones esenciales y es entonces cuando se piensa un modelo de solución, a esta fase se la denomina convergencia.

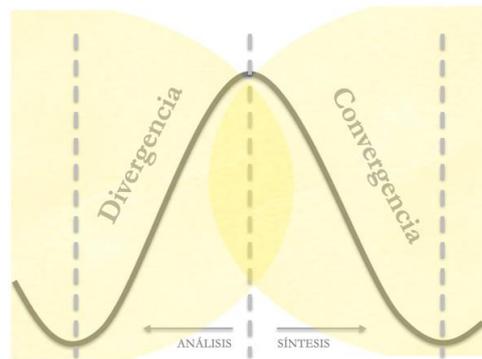


Figura 13. Fases de convergencia y divergencia en diseño. Fuente: [1]

Este flujo se repetirá dos veces durante el desarrollo con Toolboard y acabará definiendo tres etapas: investigación, ideación y validación. Cada grupo de tres herramientas estará ligado a una etapa. En la siguiente imagen puede observarse como se relacionan dichas etapas con la iteración de convergencia y divergencia y las nueve herramientas definidas.

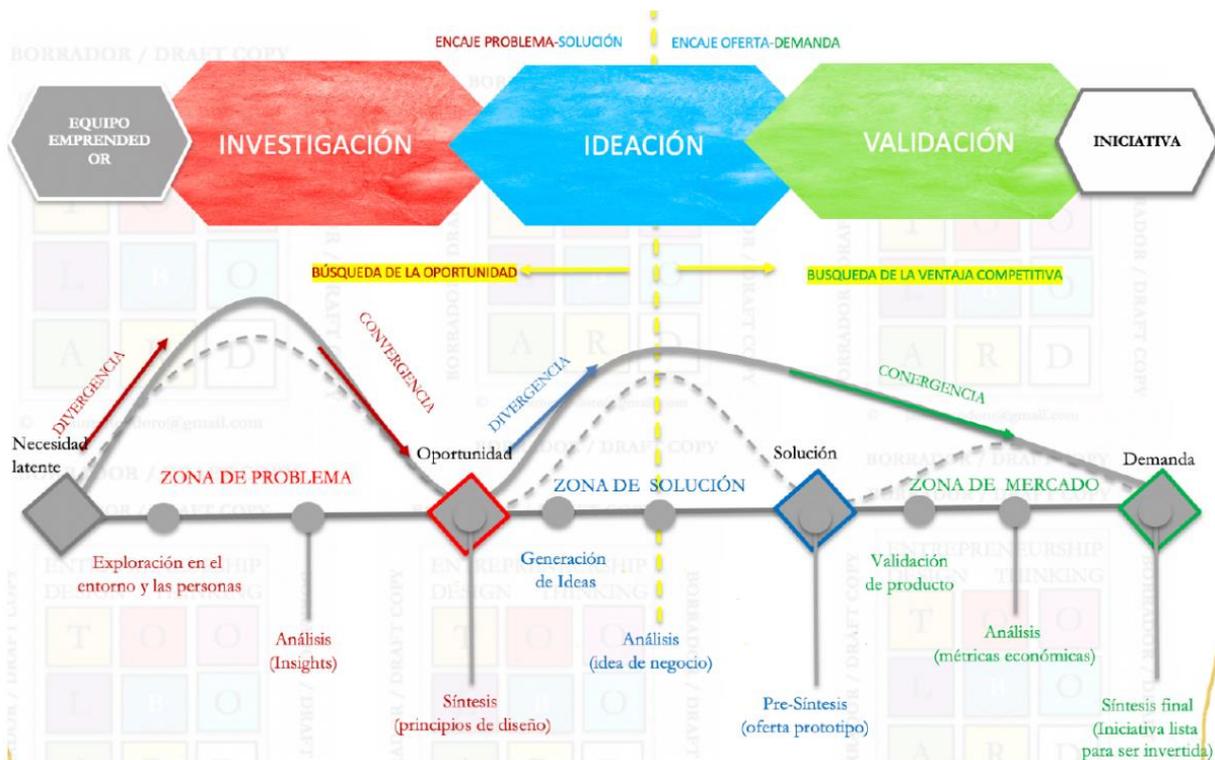


Figura 14. Proceso creativo de Toolboard Canvas. Fuente: [1]

En este proyecto se realiza un tipo de investigación bibliográfica y etnográfica para entender el problema en profundidad y obtener la información esencial para empezar la etapa de ideación.

En esta segunda etapa se elabora mediante principios de diseño una idea de solución y se crea un producto mínimo viable (MVP) para poder ser validado en la tercera y última fase.

Finalmente, se hace un análisis de la entrega de valor que proporciona la solución desarrollada y se analiza si generará así una oferta que pueda resultar interesante para los clientes.

CAPÍTULO 4. DISEÑO DE LA SOLUCIÓN

A lo largo de este capítulo se realizará un proceso creativo con el fin de escoger una solución óptima que sea capaz de cumplir con la mayor parte de expectativas de usuario detectadas anteriormente.

4.1 SELECCIÓN DE LA IDEA

El objetivo de esta sección es generar una serie de ideas de solución para después evaluarlas en base a una serie de criterios y escoger la mejor.

Para la generación de la idea, primero, se recuerda nuevamente el problema inicial y se tiene en cuenta toda la información e insights obtenidos en la fase de investigación. Por lo tanto, el objetivo de este proyecto es:

- Crear de una solución tecnológica que mejore la movilidad de las personas con discapacidades visuales o ciegas.

De la investigación realizada anteriormente en este campo se ha logrado la siguiente información clave:

- Las soluciones tradicionales para personas ciegas o con discapacidad visual son difícilmente sustituibles por su sencillez y efectividad.
- Las soluciones innovadoras existentes solo funcionan a nivel académico y no como un producto diseñado para el usuario.
- Existe un prototipo de bastón inteligente multifunción que es capaz de escanear el terreno.
- Existen nuevos sensores de detección de entorno todavía no utilizados con fines de guiado (LiDAR).
- La mayoría de soluciones tecnológicas se centran en la detección y no en la transmisión de la información captada al usuario.

A partir de la información anterior se proponen las siguientes ideas:

- Aplicación GPS con alerta de obstáculos
- Aplicación con computer visión de descripción de entorno y objetos
- Bastón inteligente con escaneo de entorno mediante una aplicación LiDAR
- Chaleco con puntos de vibración para notificar obstáculos obtenidos de una aplicación de escáner LiDAR.

Para valorar cual es la mejor solución se realiza un proceso de benchmarking donde las ideas son puntuadas (del 1 al 5) en función de ciertos parámetros clave:

	GPS + alerta de obstaculos	CV + descripción de entorno	Chaleco de Vibración + LiDAR	Bastón inteligente + LiDAR
Innovación	2	3	5	4
Usabilidad	3	2	5	3
Accesibilidad	5	4	2	2
Factibilidad	5	5	4	4
Retorno Económico	2	3	5	5
Marketing	2	3	5	4
TOTAL	19	20	26	22

Tabla 1. Bechmarking soluciones posibles. Fuente: Elaboración propia

Como puede observarse, la solución de combinar la aplicación de detección del entorno con el sensor LiDAR y un dispositivo hardware basado en un chaleco de vibración es la que más destaca entre las propuestas.

A nivel de innovación destaca sobre el resto porque innova tanto en la detección del entorno como en la transmisión que hace de la información al usuario.

En cuanto a usabilidad es la única de las opciones que deja al usuario libertad en ambas manos incorporando un dispositivo wearable cómodo y discreto.

La accesibilidad es el apartado donde tiene más debilidades ya que requiere de un dispositivo de hardware concreto y un smartphone de última generación que incorpore LiDAR.

La factibilidad no es la mayor de entre las opciones propuestas ya que requiere de un desarrollo hardware además del software.

El retorno económico es bastante elevado ya que una vez fabricado y vendido el producto no es necesario tener una gran infraestructura de servidores, que elevan los costes de mantenimiento del producto.

Finalmente, el marketing se refiere a lo atractiva que es la solución al explicarlo a medios, inversores, grandes masas, etc.

4.2 CONCEPTUALIZACIÓN

Una vez escogida la idea se realiza un proceso de naming y branding apropiado para el producto.

Al tratarse de un producto para gente ciega o con baja visión se escoge el color blanco que es fácilmente reconocible y distintivo, cualidad que también tienen los bastones guía. Se le da el nombre al producto de “*White Jacket*”, de esta manera se pretende relacionar con la solución tradicional del bastón blanco o, en inglés, “white cane”.

Al adquirir este nombre no se posiciona como un rival del bastón tradicional sino como un complemento extra capaz de detectar nuevas zonas del entorno, más lejanas, más precisas y por encima de la cintura.

Se realiza también, mediante una técnica de photobashing, el concepto del producto y se ubican sus componentes principales para dar una primera noción del producto final.

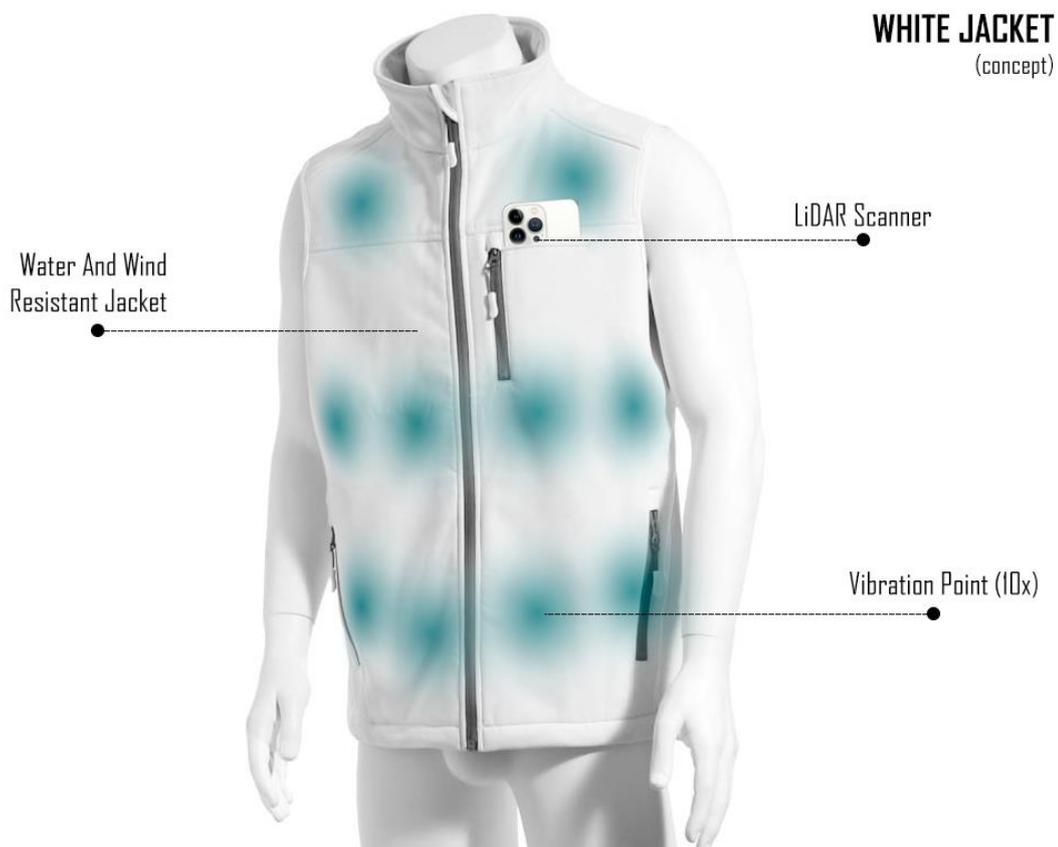


Figura 15. Concept White Jacket. Fuente: Elaboración propia

4.3 PROPUESTA DE VALOR

A continuación, se realizará una propuesta de valor del producto, para ello se contestará a cinco preguntas clave que definen la propuesta para luego resumirla en una descripción breve clara y concisa.

1. **Clientes:** Está destinado a personas ciegas o con discapacidades visuales severas.
2. **Oportunidad:** Innovadora tecnología de detección de obstáculos, a mayor distancia y con mejor precisión que una solución convencional.
3. **Producto:** Chaleco de vibración que transmite la información del entorno por pulsos de vibración.
4. **Categoría:** Producto.
5. **Beneficios:**
 - a. Cómodo y discreto, libertad en ambas manos.
 - b. Tecnología de detección innovadora, más precisión y distancia.
 - c. Tecnología de transmisión innovadora, natural y efectiva.
 - d. No es sustitutivo del bastón, puede ser un complemento.

A partir de las siguientes cuestiones se elabora un texto breve que describe la propuesta:

“White Jacket es chaleco inteligente diseñado para personas ciegas o con baja visión que alerta de obstáculos alrededor mediante pulsos de vibración, gracias a su tecnología de detección puede percibir el entorno a gran distancia y precisión”

Para poner la idea en un contexto de negocio se realiza un Business Model Canvas que ayuda a entender las diferentes partes clave del mismo:

White Jacket - Business Model Canvas



Figura 16. Business Model Canvas White Jacket. Fuente: Elaboración propia

CAPÍTULO 5. OBJETIVOS Y ALCANCE

Se decide enfocar este proyecto en solucionar un problema concreto de los hallados a partir de las necesidades de los usuarios, con el fin de elaborar una solución completa y que pueda convertirse en un producto.

A lo largo de esta sección se especificarán los objetivos que los usuarios transmiten a través de sus necesidades y los objetivos que el producto ha de cumplir para satisfacer dichas necesidades.

5.1. NECESIDADES DEL USUARIO

1. Los usuarios no pueden percibir y esquivar los obstáculos por encima de la cintura.
2. Los usuarios desean poder percibir el mundo a través de otro sentido para obtener más detalle y experimentar nuevas sensaciones.
3. Los usuarios desean navegar de forma segura y autónoma por espacios interiores y exteriores.
4. Los usuarios desearían recibir alertas sobre cambios en el entorno no deseados, debido a que memorizan recorridos y rutas.
5. Los usuarios quieren tener una solución tecnológica específicamente diseñada para ellos que proporcione una buena experiencia y usabilidad.

5.2. OBJETIVOS DEL PRODUCTO

1. Diseño detallado de la solución para mejorar la movilidad en personas ciegas o con problemas de visión.
2. Desarrollar un dispositivo hardware que transmita información espacial del entorno al usuario.
3. Desarrollar una aplicación móvil que capte información espacial del entorno.
4. Comunicar ambos dispositivos de forma sencilla y eficiente.
5. Ser cómodo y discreto.

5.3. PÚBLICO POTENCIAL

Esta solución está diseñada específicamente para personas que tienen algún tipo de discapacidad visual que les impide desplazarse con normalidad por interiores y exteriores. Puede resultar muy interesante para todos aquellos que necesitan algún tipo de herramienta guía, como un bastón, ya que serían capaces de captar información simultánea del terreno y de los obstáculos por encima de la cintura.

En cuanto a volumen de mercado, el instituto nacional de estadística calcula que, en España, unas 700.000 personas padecen una discapacidad visual severa y 48.000 son completamente ciegas, lo que supone un 1,6% de la población total del país [25].

5.4. ALCANCE

El objetivo del proyecto es realizar una prueba de concepto con el fin de comprobar si la solución diseñada puede resultar de utilidad para el colectivo de personas con discapacidad visual severa.

El diseño y desarrollo se quedarán en la fase de prototipo donde se podrán observar los indicios de la validez de la solución. Por lo tanto, durante este proyecto, la funcionalidad y usabilidad en el desarrollo del sistema se tendrán en mayor consideración que su escalabilidad y proyección futura.

El alcance del proyecto se limita a la detección y la información de obstáculos y peligros al usuario, sin embargo, teniendo esta base puede iterarse para recibir actualizaciones e incorporar nuevas funcionalidades.

CAPÍTULO 6. DEFINICIÓN DE REQUERIMIENTOS FUNCIONALES I TECNOLÓGICOS

A continuación, se listarán los requerimientos necesarios para lograr una solución completa. Para ello, se especificarán los requerimientos propios de la aplicación móvil que servirá para captar información del entorno, y los que corresponden al desarrollo hardware, necesario para transmitir dicha información.

6.1 REQUERIMIENTOS PREVIOS

Estos requerimientos corresponden a todas aquellas condiciones técnicas necesarias antes de que el sistema empiece a funcionar. Se definen los siguientes:

- El usuario debe tener un smartphone compatible con la tecnología LiDAR.
- El usuario debe tener un móvil con tecnología Bluetooth y Wifi.
- El usuario debe tener la aplicación instalada en dicho dispositivo.
- El usuario ha de conceder los permisos pertinentes a la aplicación para acceder a los sensores del mismo.
- El usuario ha de poseer un dispositivo hardware compatible con la aplicación.

6.2 REQUERIMIENTOS FUNCIONALES

Los requerimientos funcionales son aquellos esencialmente necesarios para que el usuario pueda cumplir sus objetivos para con el sistema. Se definen los siguientes:

- El usuario debe poder conectar el dispositivo hardware al móvil mediante bluetooth.
- La aplicación ha de mostrar el correcto estado de la conexión con el hardware en todo momento.
- La aplicación ha de mostrar un error en caso de fallo con la conexión hardware.
- La aplicación ha de informar al usuario sobre cuando el sistema está listo para usarse.
- La aplicación ha de poder escanear el entorno y hacer una real time mesh del entorno.
- La aplicación ha de poder medir la distancia a los obstáculos desde diferentes puntos.
- La aplicación ha de informar de manera visual al usuario de los obstáculos.
- La aplicación ha de enviar dicha información al dispositivo hardware.

- El usuario ha de poder configurar la intensidad de vibración del dispositivo hardware.
- El usuario ha de poder configurar el modo de vibración del dispositivo hardware.
- El usuario ha de poder configurar la distancia máxima de medición del hardware.
- La aplicación ha de poder guardar la configuración del usuario.
- El hardware ha de poder recibir los datos de la aplicación móvil.
- El hardware ha de enviar la intensidad de vibración correspondiente a cada motor de vibración.
- El hardware ha de poder medir e informar de su nivel de batería restante.
- El hardware de informar de cualquier tipo de error al usuario.
- El hardware ha de contar con una batería reemplazable.

6.3 REQUERIMIENTOS NO FUNCIONALES

En esta sección se especifican todos aquellos detalles que no interrumpen la funcionalidad principal de la app pero que mejoran la experiencia del usuario. Son los siguientes:

- La aplicación ha de contar con un diseño visual de alto contraste para personas con visibilidad reducida.
- La aplicación ha de contar con feedback de vibración.
- La aplicación ha de tener una buena usabilidad.
- La aplicación ha de emitir alertas sonoras para informar al usuario.
- El hardware ha de poderse llevar con comodidad.

CAPÍTULO 7. DESARROLLO

En este capítulo se documentará el desarrollo completo de la solución, comenzando por la definición de los casos de uso de la misma y profundizando en cada apartado tecnológico desarrollado.

7.1 CASOS DE USO

En esta sección se determinarán los casos de uso específicos en cada momento para el sistema. Se define caso de uso como el recorrido que hace el usuario dentro de la solución para lograr un estado o funcionamiento concreto.

7.1.1 CASO DE USO – CONEXIÓN BLUETOOTH

Precondiciones:

- El usuario debe tener la aplicación instalada
- El usuario debe tener el dispositivo hardware encendido y preparado para buscar conexiones

Actor: Usuario de la aplicación

Postcondiciones:

- El usuario consigue conectar la aplicación al dispositivo hardware y obtiene un mensaje de conexión exitosa

Flujo Principal:

1. El usuario inicia la aplicación
2. La aplicación busca dispositivos bluetooth que coincidan con el dispositivo hardware
3. La aplicación encuentra el dispositivo hardware
4. La aplicación inicia la conexión
5. El dispositivo hardware conecta con el dispositivo
6. La aplicación manda los parámetros de configuración del usuario al hardware
7. El dispositivo hardware aplica dichos parámetros de configuración

8. La aplicación muestra al usuario una alerta visual y sonora informando sobre la conexión exitosa.

Flujo Secundario:

1. La aplicación después de un periodo de tiempo no encuentra dispositivos compatibles
2. La aplicación detiene la búsqueda e informa al usuario del error
3. La aplicación permite reintentar la conexión

Diagrama de secuencia:

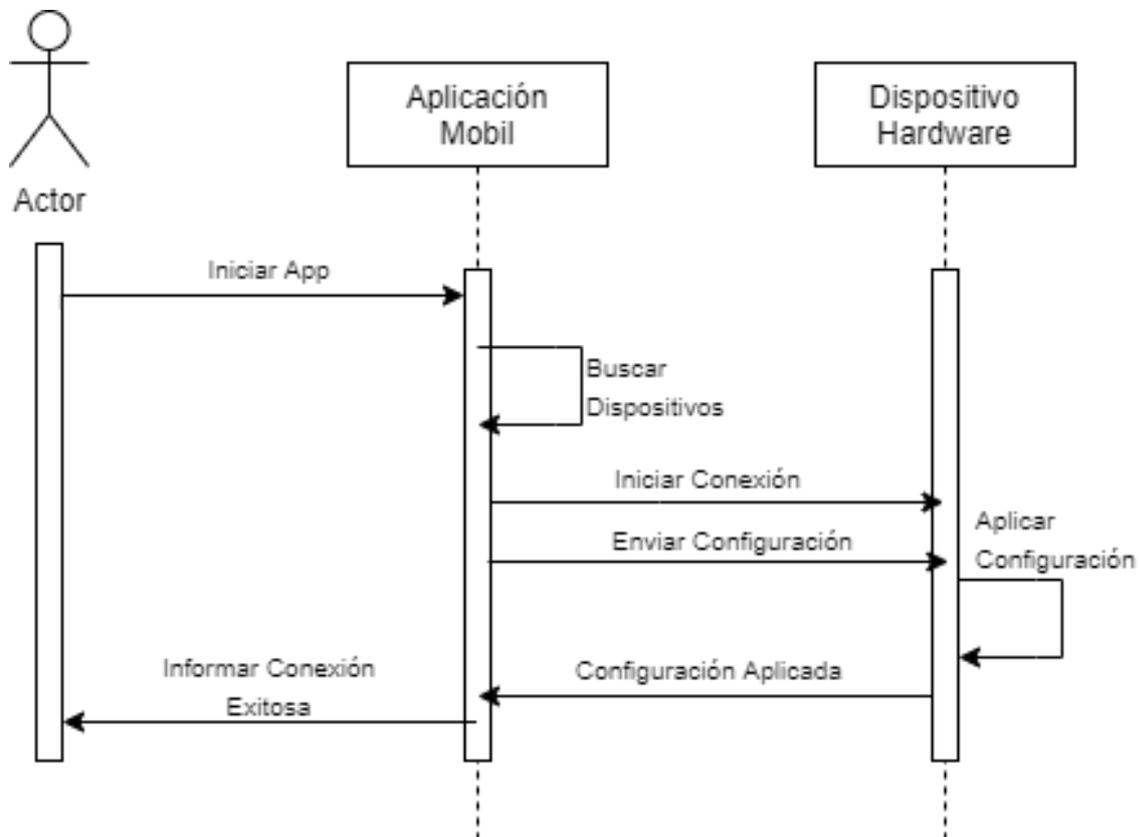


Figura 17. Diagrama de secuencia conexión Bluetooth. Fuente: Elaboración propia

7.1.2 CASO DE USO – INFORME DEL ENTORNO

Precondiciones:

- El usuario ha de tener la aplicación abierta y conectada al dispositivo hardware
- El usuario se encuentra en la página principal de la aplicación

Actor: Usuario de la aplicación

Postcondiciones:

- El usuario recibe feedback en forma de pulsos de vibración y visual de la distancia a los obstáculos de su alrededor

Flujo Principal:

- El usuario realiza la conexión bluetooth con el dispositivo hardware
- La aplicación activa el modo de escáner de mesh de realidad aumentada
- La aplicación hace raycasting desde cada punto de vibración virtual del usuario a la mesh generada y mide la distancia en cada punto
- La aplicación calcula la intensidad de la vibración en cada punto
- La aplicación muestra de forma visual la intensidad de la vibración en cada punto
- La aplicación envía al dispositivo hardware los datos de vibración en cada punto
- El dispositivo hardware reproduce el valor de la vibración recibida en cada motor

Flujo Secundario:

- En caso de error la aplicación muestra el tipo de error que puede ser
 - Error de conexión con el dispositivo
 - Error en el escáner 3D

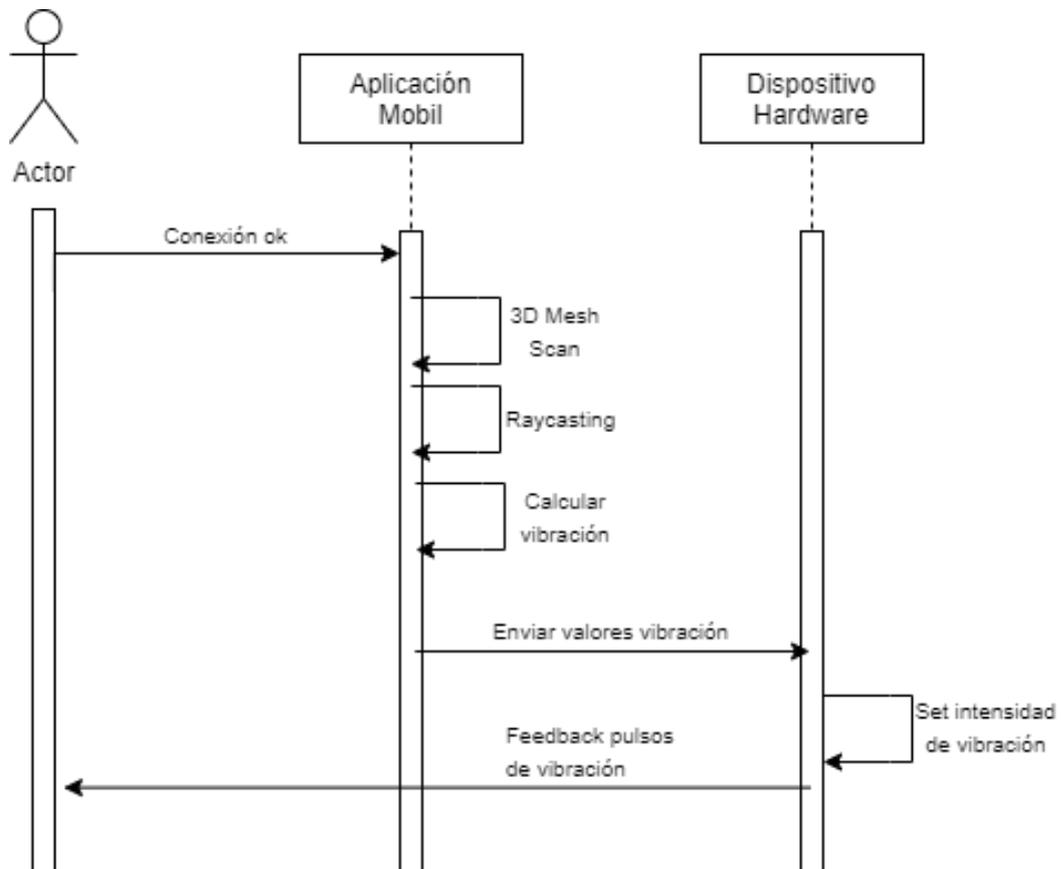
Diagrama de secuencia:

Figura 18. Diagrama de secuencia informe de entorno. Fuente: Elaboración propia

7.1.3 CASO DE USO – REALIZAR CONFIGURACIÓN

Precondiciones:

- El usuario se encuentra en la página principal de la aplicación

Actor: Usuario de la aplicación

Postcondiciones:

- El usuario consigue cambiar un parámetro de funcionamiento del sistema

Flujo principal:

- El usuario pulsa el botón de configuración situado en la página principal de la aplicación
- El usuario entra la página de configuración
- El usuario puede ver el estado de la conexión con el dispositivo
- El usuario puede modificar diversos parámetros de funcionamiento mediante sliders y botones
- El usuario modifica un parámetro de funcionamiento
- La aplicación manda al dispositivo el parámetro y su nuevo valor
- El dispositivo cambia el valor recibido

Flujo secundario:

- En caso de error la aplicación muestra el tipo de error que puede ser
 - Error de conexión con el dispositivo
 - Error actualizando el valor

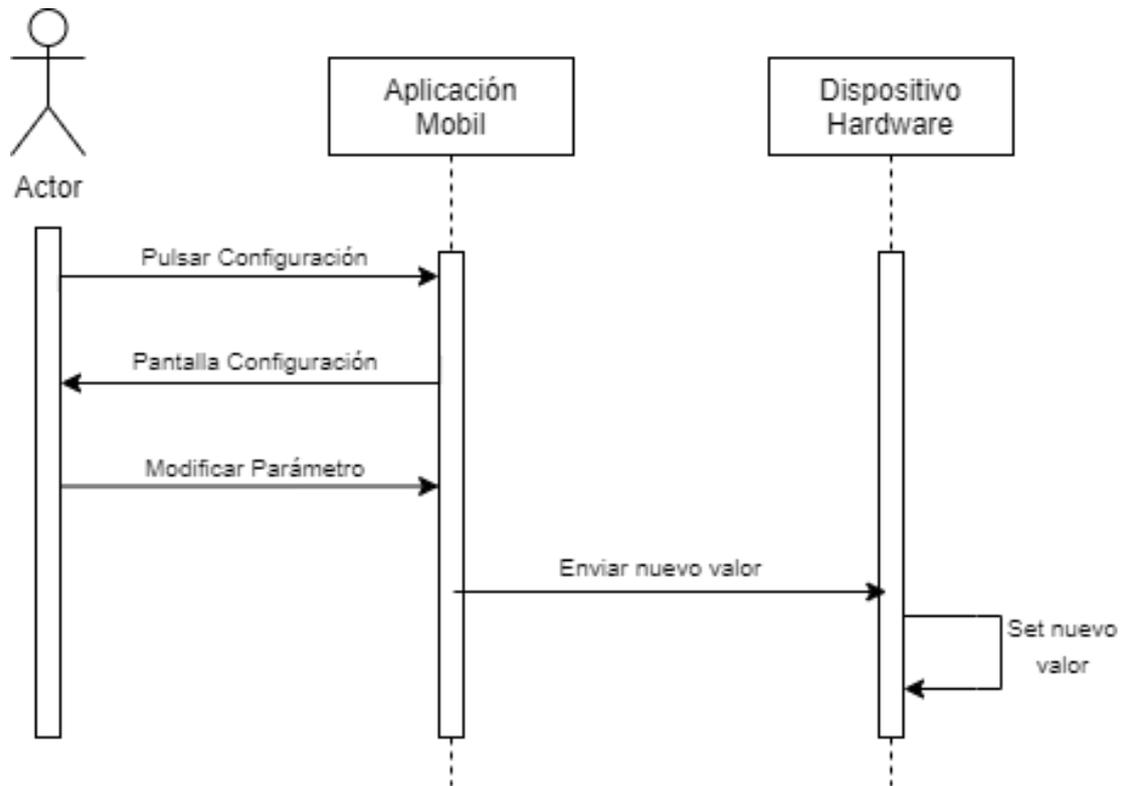
Diagrama de secuencia:

Figura 19. Diagrama de secuencia realizar configuración. Fuente: Elaboración propia

7.2 DESARROLLO APP MOVIL

En esta sección se resumirá el proceso de diseño y desarrollo de la app móvil responsable del escaneo del entorno y control del dispositivo hardware.

La tecnología escogida para el desarrollo de la aplicación es el motor gráfico y plataforma de Unity. Los motivos por los que se ha optado por dicha opción son los siguientes:

- **High Level API.** La principal ventaja de usar Unity como plataforma de desarrollo es la capa de abstracción que ofrece a través de su motor con independencia del dispositivo donde se ejecute. La principal desventaja es el tiempo de carga del motor en aplicaciones sencillas, sin embargo, tratándose de juegos o aplicaciones que requieren procesamiento 3D es la opción más conveniente.
- **Unity AR Foundation.** Como se ha descrito anteriormente, Unity incorpora su API de alto nivel para desarrollar experiencias de realidad virtual compatibles con las principales plataformas de una forma visual e intuitiva. Además, tiene gran compatibilidad con el sensor LiDAR de Apple que permite realizar escaneos de entorno con 3D meshing. [15]
- **Multiplataforma.** La independencia de plataforma que proporciona Unity hace que un mismo desarrollo pueda correr sobre diferentes plataformas con cambios mínimos o nulos. Actualmente, el sensor LiDAR solo está disponible en dispositivos Apple, por lo que este proyecto se centrará únicamente en estos dispositivos, sin embargo, si en un futuro el resto de smartphones incorporan este sensor, el desarrollo estará preparado.
- **Experiencia previa con la plataforma.** Un factor diferencial para escoger esta tecnología ha sido el conocimiento de la misma, así como de su workflow y lenguaje de programación C#.

7.2.1 DISEÑO DE LA APLICACIÓN

La aplicación móvil ha de cumplir con dos funciones principales:

- Escaneo y procesado del entorno 3D.
- Conexión y configuración Bluetooth con el dispositivo hardware.

La aplicación no requiere de una gran cantidad de pantallas y diseño de interfaces, sin embargo, a nivel de user experience ha de cumplir con los objetivos de claridad visual y simplicidad de uso.

Se plantean únicamente dos pantallas.

La primera pantalla, y principal, se encargará de proporcionar información general acerca del chaleco inteligente, a la vez que se encarga del escaneo del entorno mediante 3D meshing. En esta pantalla se mostrará la cámara del dispositivo generando malla 3D encima de objetos reales, además se mostrará un modelo del chaleco donde se ilustrará la distancia a cada obstáculo por cada punto de vibración.

En la segunda pantalla, accesible desde la principal, se proporcionará información sobre el estado de la conexión Bluetooth y permitirá la configuración de los parámetros de:

- Modo de vibración del chaleco
- Activación y desactivación de la propia vibración
- Intensidad de vibración del chaleco
- Distancia de escaneo de la aplicación

Para mejorar las labores de testing de la aplicación y mapeado de motores se plantea la incorporación de una tercera pantalla de debugging, donde se puedan probar los motores de forma individual y calibrar su intensidad máxima individual.

7.2.2 MESHING 3D CON LIDAR

El escaneo del entorno se realizará mediante Meshing 3D que se define como la generación de una malla 3D basándose en escaneos de la geometría del mundo real. [26] Actualmente esta tecnología se utiliza para generar complejas experiencias de realidad virtual que utilizan la geometría del mundo real como parte de la escena virtual. Esta tecnología también se usa en fotogrametría o para realizar cartografía de alta precisión. [27]

Los pasos necesarios para lograr 3D meshing con Unity empiezan por la configuración estándar de una escena de realidad aumentada. Para ello tendremos que crear una jerarquía que contenga el origen de la sesión AR y designarle una cámara que equivaldrá a la cámara real del dispositivo.

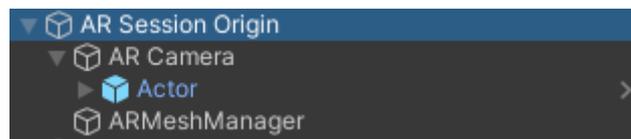


Figura 20. Jerarquía AR y meshing 3D. Fuente: Elaboración propia

El objeto “*Session Origin*” se encarga de establecer la posición inicial del dispositivo en la escena virtual. Por otra parte, el objeto “*AR Camera*” traslada las posiciones y rotaciones vectoriales en los tres ejes del objeto del mundo real al virtual. Esto implica que todos los objetos hijos de “*AR Camera*” en la jerarquía seguirán en posición y rotación al dispositivo del mundo real.

A continuación, se crea el objeto ARMeshManager que será el encargado de contener la clase que genere la Mesh en función de diferentes parámetros.

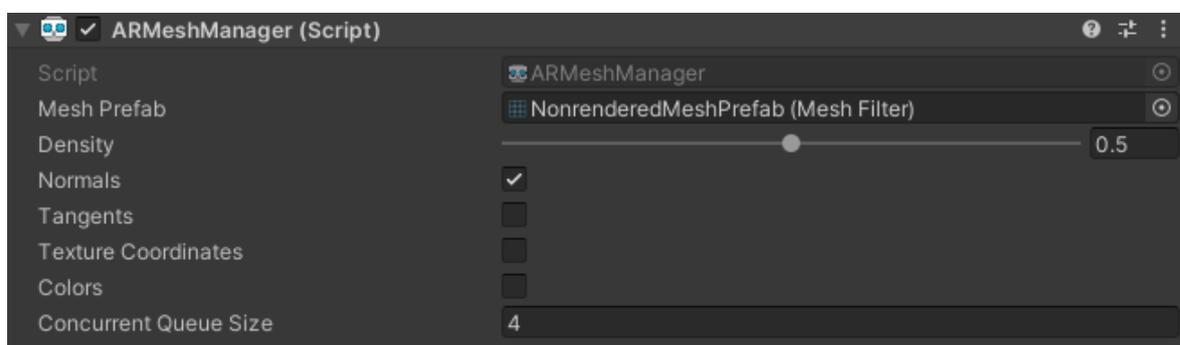


Figura 21. Configuración Mesh Manager. Fuente: Elaboración propia

En el script se pueden configurar parámetros que afectan al rendimiento y la calidad del mesh generado. El parámetro más relevante es la densidad, que corresponde a la cantidad de polígonos que se generarán a partir de los puntos captados por el sensor, también se conoce como teselación. Cuanta mayor teselación se tenga, mayor será la calidad de la malla generada, sin embargo, afectará directamente al tiempo de procesado y renderizado.

A continuación, opcionalmente puede configurarse la Mesh Classification. Esta opción añade un paso de análisis durante la generación de la mesh para identificar objetos básicos mediante inteligencia artificial. Actualmente, la mesh classification desarrollada por Apple puede distinguir entre siete tipos de superficies y objetos, estos son: paredes, suelos, techos, asientos, mesas, ventanas y puertas.

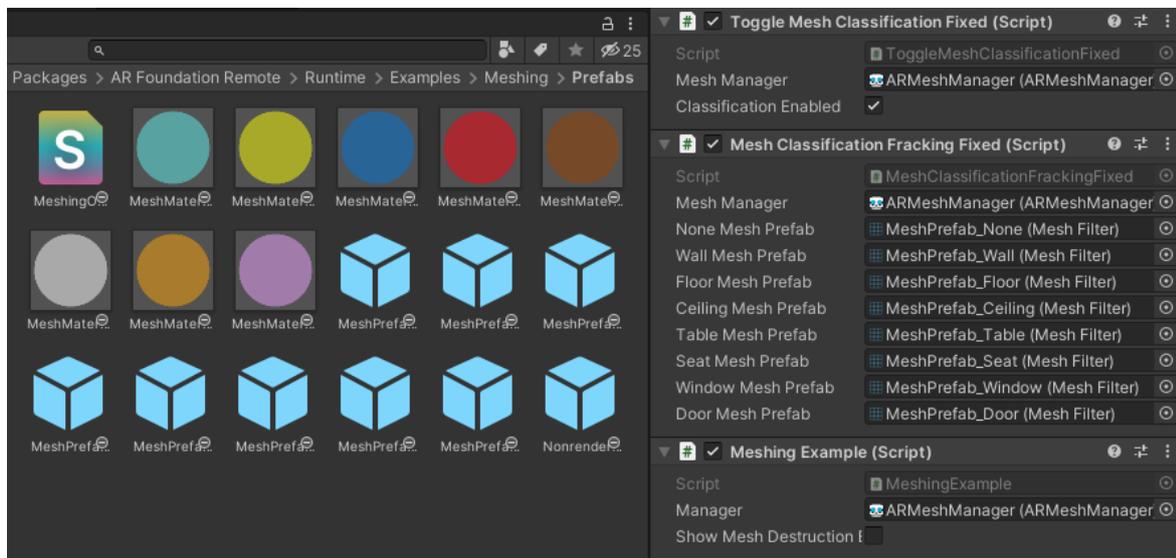


Figura 22. Configuración Mesh Classification. Fuente: Elaboración propia

Como puede verse, para activar esta opción se añaden dos scripts de mesh classification y se asignan diferentes prefabs con materiales concretos a cada objeto clasificado para una correcta visualización.

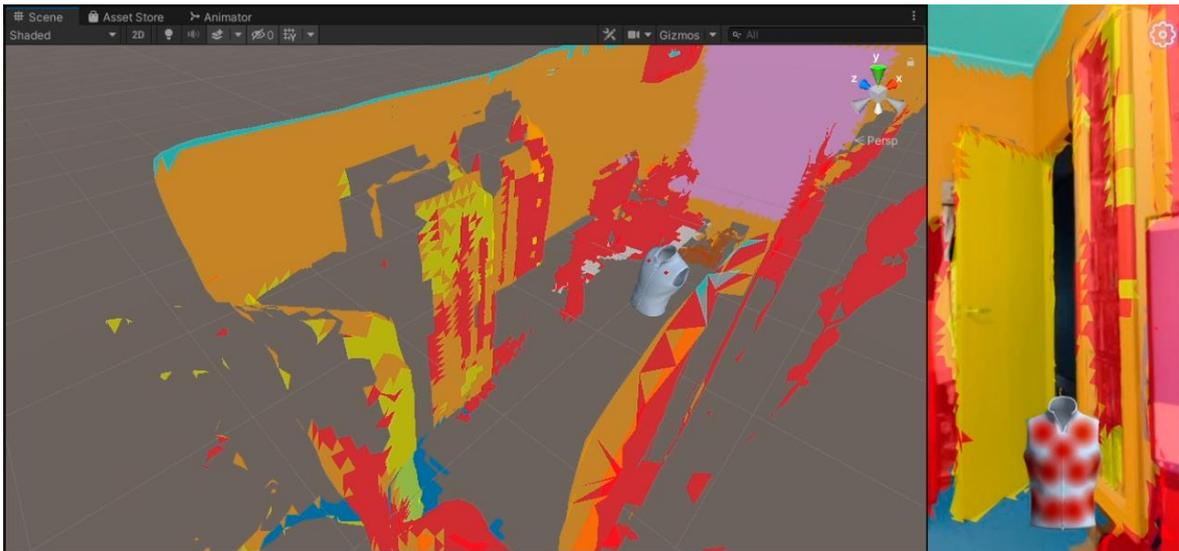


Figura 23. 3D meshing test. Fuente: Elaboration propia

Como puede observarse el sistema genera una malla tridimensional mediante 3D meshing y da un material diferente a cada objeto y superficie que puede identificar. Ahora el sistema está preparado para detectar colisiones físicas en tiempo real con trazado de rayos.

7.2.3 RAYCASTING

El raycasting, también conocido como trazado de rayos, es un algoritmo básico que detecta la intersección de un rayo con una superficie, es especialmente útil para solucionar problemas de gráficos por ordenador.

En este proyecto se utilizará raycasting para calcular las distancias a los obstáculos cercanos, representados por la maya 3D generada con AR Meshing.

Para ello se ubicarán diferentes objetos dentro de la jerarquía de “ARCamera” para que compartan posición y rotación con el dispositivo real. De esta manera, se ubicarán los objetos en la posición que tendrían los sensores en la realidad, es decir, donde estarán situados los motores de vibración.



Figura 24. Configuración Raycasting. Fuente: Elaboración propia

Cada sensor realizará un arco de raycasting en la altura a la que se encuentren para detectar posibles obstáculos y medir la distancia a los mismos. El script de cada sensor permite configurar el ángulo de apertura independientemente hacia ambos sentidos además del número de rayos lanzados en dicho intervalo. El algoritmo siempre informará del obstáculo que se encuentra a menor distancia.

Con el propósito de informar al usuario de que la detección se está realizando de forma correcta, independientemente del feedback que da el chaleco, se elabora una vista del mismo chaleco virtual con un overlay que nos indica mediante una gama de colores la distancia a cada obstáculo. Para realizar testing se ubican diferentes obstáculos virtuales y se observa si el comportamiento es el esperado:

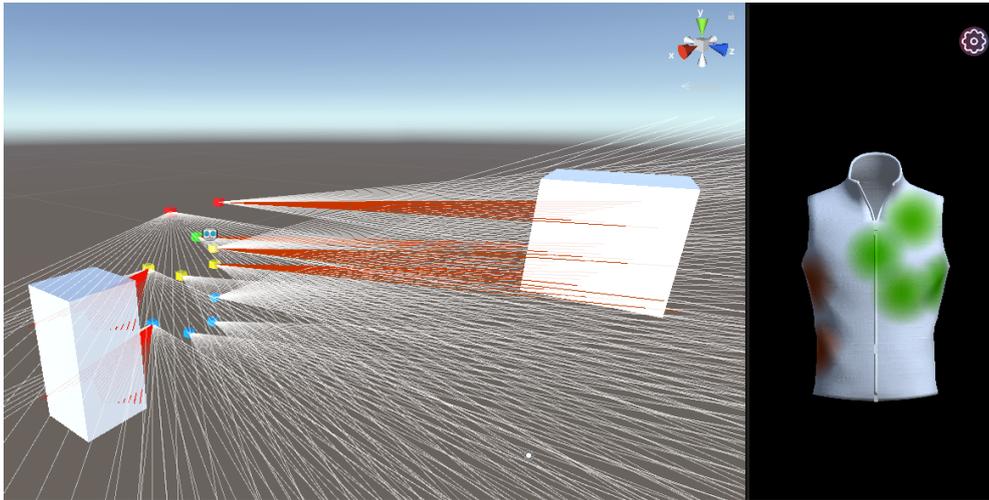


Figura 25. Raycasting test. Fuente: Elaboración propia

La distancia mínima a la que el sistema identifica un obstáculo como peligroso se deja como parámetro configurable para el usuario.

Una vez el dispositivo puede realizar el raycasting ya está preparado para utilizarse junto al 3D meshing y observar sus resultados:

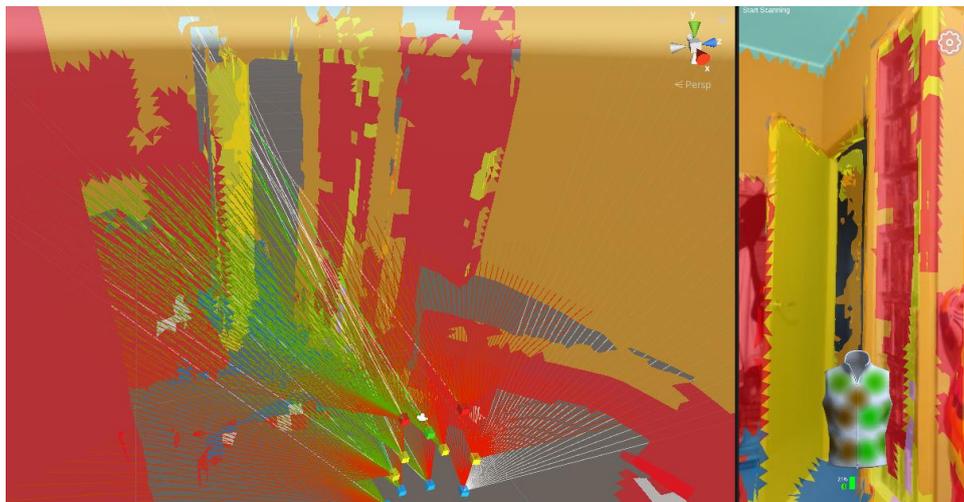


Figura 26. Raycasting con 3D meshing test. Fuente: Elaboración propia

7.2.4 INTERFAZ DE USUARIO

La interfaz de usuario de la aplicación móvil tiene como objetivo poder realizar configuraciones en el comportamiento del chaleco y la detección de obstáculos.

Además, dicha interfaz ha de tener un buen contraste y usabilidad para poder ser usada por personas con problemas de visión.

La aplicación consta de tres pantallas:

1. **Pantalla Cámara.** Es la pantalla principal de la app, en ella se muestra una visualización de la cámara junto con el 3D meshing en tiempo real para poder ver la superficie escaneada.
2. **Pantalla Menú.** En esta pantalla se informa del estado de la conexión Bluetooth y se pueden modificar los parámetros de:
 - a. Activación de vibración.
 - b. Vibración exponencial/lineal en función a la distancia un obstáculo.
 - c. Intensidad de vibración general.
 - d. Distancia mínima de información de obstáculos.
3. **Pantalla Calibración.** En esta pantalla se permite cambiar el nombre del dispositivo Bluetooth que la aplicación buscará al iniciarse. Además, se puede calibrar y probar la vibración máxima de cada motor de forma individual.

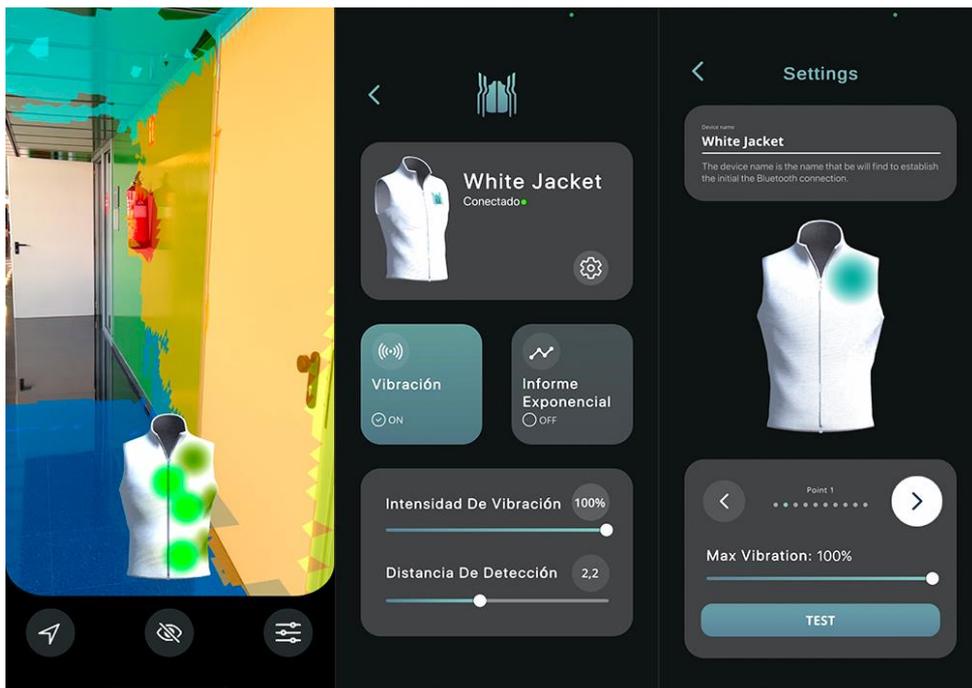


Figura 27. Interfaz de usuario de White Jacket App. Fuente: Elaboración propia

7.3 DESARROLLO HARDWARE

Para documentar el desarrollo se especificarán los materiales y componentes utilizados, así como su función en el sistema y su precio. Además, se describirán los detalles del montaje y finalmente, se calculará el coste total de la fabricación del dispositivo.

7.3.1 MICROCONTROLADOR ESP32

El componente más importante del sistema es el microcontrolador. Su función principal es la gestión de los diferentes motores de vibración y la conexión Bluetooth con el dispositivo móvil.

Anteriormente en el proyecto se realizó una investigación acerca de los microcontroladores: Arduino y Raspberry Pi [21] [22]. Raspberry cuenta con chips con una capacidad de procesamiento muy elevada y grandes prestaciones de comunicación inalámbrica como Wi-Fi y Bluetooth, sin embargo, las dimensiones de los chips y el alto precio no se ajustan a las dimensiones del proyecto. Por otra parte, Arduino cuenta con controladores más sencillos a menor precio. El único problema que se encuentra con estos chips es que no incorporan módulos de comunicación inalámbrica de base y es necesario añadir módulos hardware aparte.

Finalmente se optó por el microcontrolador ESP32 que es un SoC fabricado por la empresa Espressif Systems que incorpora conectividad Wi-Fi y Bluetooth además de un gran número de pines GPIO y en unas dimensiones muy reducidas [28]. Además, el precio del chip es tres veces inferior al de un Arduino UNO e incorpora muchas más prestaciones.

El lenguaje de programación para el Esp32 puede ser C++, Python y el lenguaje de programación de Arduino que comparte sintaxis con C++. Esta última opción será la que se utilizará en este proyecto debido a que el código del hardware no es de gran complejidad. Además, se utilizarán librerías propias de C++ para la gestión de arrays y Strings y librerías específicamente desarrolladas para el Esp32 y la gestión de la conexión Bluetooth.

7.3.2 CONEXIÓN BLUETOOTH LOW ENERGY

La conexión con el dispositivo móvil se realizará mediante el protocolo Bluetooth Low Energy. Este protocolo se diferencia de una conexión bluetooth tradicional porque está diseñado para transportar pequeñas cantidades de datos con el fin de ahorrar energía en los dispositivos implicados. Además, este protocolo soporta broadcast y mesh network además del tradicional point to point. Se escoge este protocolo porque es el más usado en dispositivos wearables.

El primer paso para empezar a desarrollar con BLE es determinar quién jugará el papel de servidor y de cliente. El servidor tiene como comportamiento advertir de su existencia en la red Bluetooth para que pueda ser hallado por otros dispositivos. El cliente, sin embargo, escanea la red y se conecta a los dispositivos servidores para interactuar con sus datos.

El protocolo que sigue el servidor BLE para anunciar sus servicios a otros dispositivos es conocido como GATT (Generic Attributes) [29]. A continuación, podemos ver como dicho protocolo estructura la información:

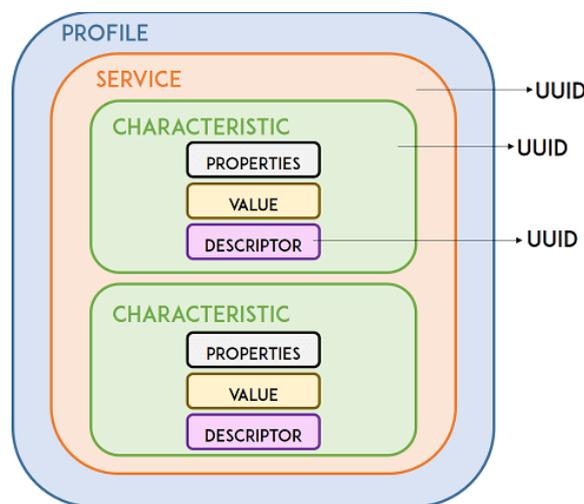


Figura 28. Estructura jerárquica GATT. Fuente: [29]

El dispositivo anuncia los servicios mediante un identificador único, estos servicios pueden contener diversas características, que sirven como funciones o métodos para solicitar y enviar información. Cada característica ha de poseer también su identificador único y un descriptor que indique que serie de métodos pueden ser llamados, pueden ser: Read, Write, Notify, Indicate, etc.

Para la implementación del protocolo se define el siguiente servicio y característica:

Nombre	Tipo	UUID	Métodos
White Jacket Service	Service	00000001-710E-4A5B-8D75-3E5B444BC3CF	---
<i>main</i>	<i>Characteristic</i>	00000003-710E-4A5B-8D75-3E5B444BC3CF	<i>Write, Read</i>

Tabla 2. Estructura de servicios y características BLE. Fuente: Elaboración propia

Debido a la brevedad de instrucciones Bluetooth que se utilizarán se decide publicar únicamente un único servicio con una característica para recibir instrucciones. Una vez recibida la instrucción se procesará y se aplicarán las acciones necesarias.

Las instrucciones utilizadas son:

Instrucción	Código	Parámetros	Tipo	Descripción
Vibrate	0x00	10	Array<int>	Set de la vibración por motor
Calibrate	0x01	10	Array<int>	Set de la vibración máxima por motor
Activate	0x02	1	Boolean	Estado de vibración activo/inactivo
Intensity	0x03	1	Integer	Set vibración máxima de todos los motores

Tabla 3. Instrucciones Bluetooth. Fuente: Elaboración propia

Tanto las instrucciones como los parámetros dentro de las mismas se envían y se procesan en formato hexadecimal.

Gracias a las librerías de BLE desarrolladas para el Esp32 la traducción del diseño al código es sencilla. Es importante destacar que se precisa de una clase específica que gestione las Callbacks de cada característica.

7.3.3 ESQUEMA ELÉCTRICO

A continuación, se mostrará el esquema eléctrico diseñado para el montaje final del prototipo. Se colocan dos leds que indican el estado del chaleco. El led azul se destinará al estado de la conexión Bluetooth, mientras que el led verde servirá para indicar si la vibración se encuentra activa o inactiva.

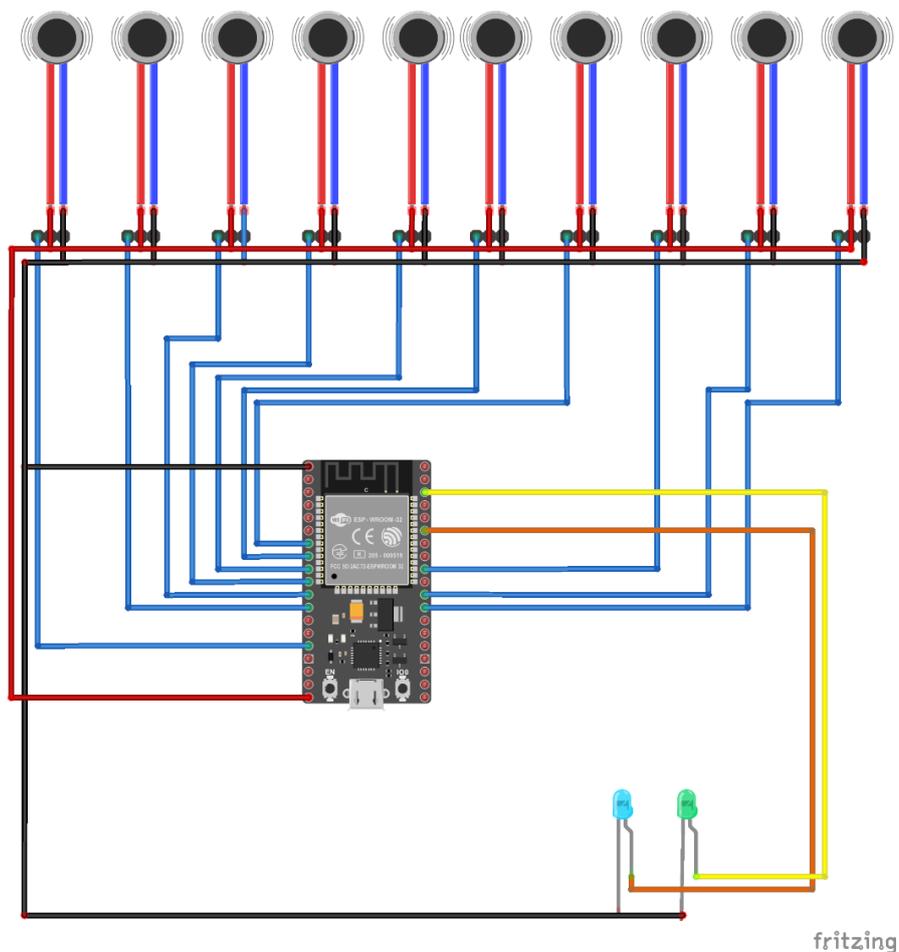


Figura 29. Esquema eléctrico White Jacket. Fuente: Elaboración propia

A partir del siguiente esquema puede calcularse el consumo total en miliamperios del sistema que ayudará a estimar la duración de la batería del chaleco.

Componente	Consumo (mA)	Cantidad	Total (mA)
Microcontrolador ESP32	180	1	180
Motor de vibración PWM	75	10	750
LED indicador	25	2	50
		TOTAL	980

Tabla 4. Consumo de componentes hardware. Fuente: Elaboración propia

7.3.4 MOTORES DE VIBRACIÓN

Los motores de vibración seleccionados funcionan con una alimentación de cinco voltios y tienen la peculiaridad de que el control de la intensidad de la vibración se realiza mediante una señal PWM (Pulse Width Modulation). Este tipo de modulación consiste en someter al dispositivo a un periodo de tiempo donde recibirá voltaje y otro en que no. De esta manera se consigue un voltaje promedio que se traduce en la intensidad de vibración del motor.

El microcontrolador ha de estar preparado para emitir este tipo de señales PWM, por suerte, el Esp32 cuenta con 16 canales de salida PWM. Para realizar la configuración primero se ha de vincular el pin GPIO al canal de donde extraerá la señal. El siguiente paso es determinar la resolución o precisión que tendrá la salida, y finalmente, la frecuencia a la que se emitirá la señal.

```
#define VIB_GPIO    25
#define PWM1_Ch    0
#define PWM1_Res   8
#define PWM1_Freq  100

void setup()
{
  Serial.begin(115200);
  ledcAttachPin(VIB_GPIO, PWM1_Ch);
  ledcSetup(PWM1_Ch, PWM1_Freq, PWM1_Res);
}
```

Figura 30. Control de motores de vibración con Esp32. Fuente: Elaboración propia

Una vez realizada la configuración, puede determinarse la intensidad de la vibración con valores de 0 a 255 desde cualquier parte del código.

7.3.5 SOPORTE MÓVIL

Con el fin de colocar el móvil en la posición correcta para que la cámara pueda realizar el escaneo de entorno con precisión se habilita un bolsillo en la solapa izquierda del chaleco. Sin embargo, para conseguir que únicamente la cámara sobresalga se precisa de una pieza hecha a medida para el dispositivo móvil en cuestión.

Para conseguir dicha pieza se recurre a la técnica de impresión 3D que permite la fabricación de piezas en materiales plásticos a partir de modelos CAD.

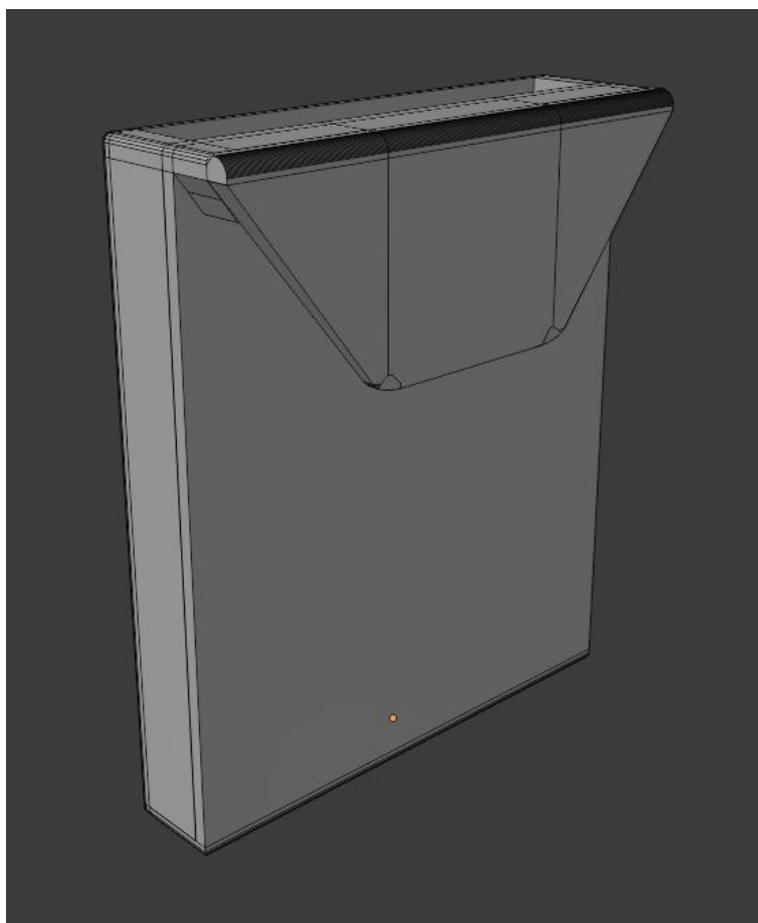


Figura 31. Modelo 3D soporte móvil. Fuente: Elaboración propia

Utilizando el programa de modelado Blender se diseña la pieza. Se deja el compartimento designado al móvil en la parte superior y se crea una elongación del mismo que se utilizará de enganche con el bolsillo.

7.3.6 COSTES DE FABRICACIÓN

A continuación, se especifican los costes de los componentes y materiales utilizados para la fabricación de un chaleco de vibración. Estos costes podrían reducirse considerablemente realizando pedidos de más unidades y recurriendo a tiendas internacionales.

Componente	Cantidad	Precio Unitario	Total
Chaleco Persol BLANCO	1	15,28 €	15,28 €
Módulo de Motor de vibración PWM	10	2,78 €	27,80 €
ESP32 ESP-WROOM-32 NodeMCU	1	8,66 €	8,66 €
Mini Power Bank 5000mAh Carga Rápida, PD18W	1	10,19 €	10,19 €
Cable sólido 22 awg 9m	1	3,83 €	3,83 €
Pieza Impresión 3D Mobile Holder	1	1,82 €	1,82 €
		TOTAL	67,58 €

Tabla 5. Costes de fabricación White Jacket. Fuente: Elaboración propia

Esta tabla no contempla el coste humano en horas de trabajo que costaría fabricar el chaleco, y únicamente se centra en el coste de los componentes del hardware.

7.3.7 FABRICACIÓN DEL CHALECO

La fabricación física del chaleco conlleva una parte importante del tiempo debido a los procesos manuales realizados. Inicialmente se ubicaron los motores en su lugar correspondiente y se cortaron los cables con las medidas necesarias. Se soldó cada pin de los motores de vibración y se cosieron en el lugar correspondiente.

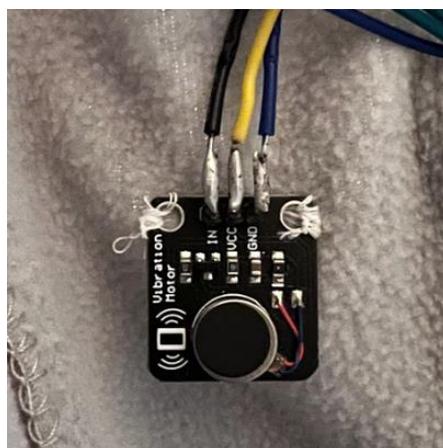


Figura 32. Motor de vibración soldado y cosido. Fuente: Elaboración propia

El código de colores de los cables es el siguiente:

- 5V - Amarillo
- Gnd - Azul
- PWM - Blanco / Negro

En la parte central del chaleco se cosen placas PCB que sirven para unir todos los pines de voltaje y de tierra.



Figura 33. Cableado interno del chaleco. Fuente: Elaboración propia

También se soldaron los pines PWM de todos los motores de vibración a la placa controladora ESP32. Además, se unieron los pines de voltaje y tierra con las placas PCB centrales.

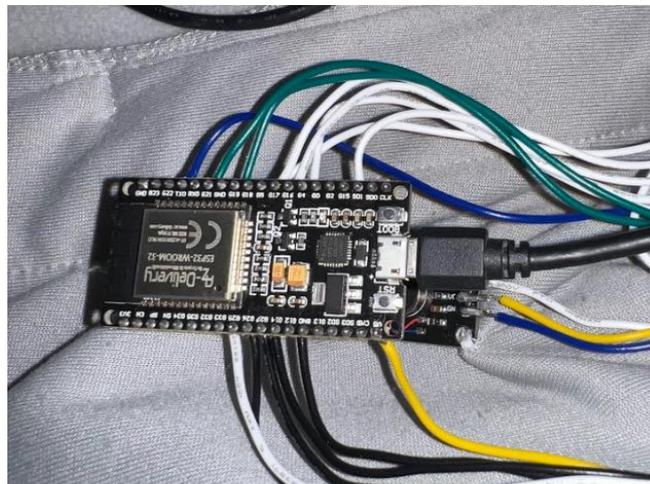


Figura 34. Cableado de microcontrolador ESP32. Fuente: Elaboración propia

Finalmente se añadió una apertura en la solapa del chaleco para colocar la pieza impresa en 3D que sirve como soporte del móvil. Además, se colocaron los LEDs de estado de forma interna en el chaleco para verse la iluminación desde el exterior y se dejó el cable USB libre para conectar la batería.



Figura 35. Acabado final de White Jacket. Fuente: Elaboración propia

CAPÍTULO 8. CONCLUSIONES

A lo largo de este apartado se hará una valoración general del desarrollo del proyecto, de sus implicaciones sociales, tecnológicas y los posibles planes de futuro a corto y a largo plazo.

8.1 VALORACIONES

La primera conclusión destacable en este proyecto tiene que ver con la metodología escogida para llevarlo a cabo: Design Thinking Toolboard Canvas. Esta metodología ha establecido unas fases y ha proporcionado unas herramientas que han guiado el desarrollo de la solución desde su misma concepción. Además, se ha tratado siempre al usuario como eje central de la idea y todas las decisiones han sido tomadas pensando en él.

Se demuestra que este proyecto no habría sido posible sin una gran fase de investigación y, sobre todo, de diseño. Una parte importante del tiempo, se empleó en la búsqueda de información general, la detección de necesidades a nivel humano, la conceptualización de la idea y finalmente, el diseño tecnológico para llevarla a cabo.

El segundo elemento destacable es el producto resultante: White Jacket. Se puede concluir que es una solución creativa e innovadora, tanto en la detección como en la transmisión de la información, que incluso puede tener cabida a nivel comercial. En el ámbito social, puede ayudar en gran medida a personas ciegas o con problemas de visión graves, cambiando por completo su movilidad y autonomía.

El coste final de fabricación de White Jacket es asequible. Sin embargo, el mayor inconveniente y principal barrera de entrada para muchos usuarios es el dispositivo móvil con el sensor LiDAR correspondiente, actualmente solo disponible en móviles de alta gama. La previsión idónea es que cada vez más marcas incorporen dicho sensor para que posteriormente pueda ser adoptado por la gama media y baja a un precio más económico.

El feedback obtenido de los usuarios que probaron el chaleco fue, en general, bueno. El primer contacto para todos resultó impactante ya que se recibe un estímulo en forma de vibración poco común. Posteriormente el usuario pasa por un período de adaptación donde aprende como el chaleco transmite la información espacial, la intensidad y la distancia a la que comienza a hacerlo. Después de esta etapa el usuario empieza a confiar más en el

chaleco, incrementando su velocidad de movimiento y probando sus límites. La conclusión final de las pruebas es que la adaptación a la solución tecnológica no es directa y requiere de compromiso por parte del usuario, sin embargo, con el entrenamiento adecuado y ajustando parámetros de forma personal se puede conseguir una nueva forma de percibir el entorno.

En cuanto al desarrollo tecnológico fue dividido en dos grandes pilares que progresaron simultáneamente: la creación de la aplicación móvil y la fabricación del dispositivo hardware.

La decisión de utilizar Unity para el desarrollo de la aplicación fue un acierto ya que permitió realizar tanto el algoritmo de detección como la interfaz de usuario de forma visual y práctica. Además, el motor gráfico añade una capa de abstracción que abre la puerta a que la aplicación pueda ser multiplataforma en un futuro. El inconveniente más notable es el alto consumo de CPU que se realiza en el dispositivo que acaba repercutiendo en la duración de la batería.

El desarrollo del hardware pasó por dos fases. La primera fue la programación del microcontrolador y elaboración de la electrónica que estuvo en constante evolución durante el proyecto. La segunda, que llevó más tiempo, fue la de manufactura del prototipo donde se precisaron de habilidades manuales y de gran paciencia y dedicación. De esta fabricación se concluye que tanto la detección como la solución de problemas fue lenta y tediosa y que finalmente las soluciones más sencillas fueron las más eficaces.

8.2 FUTURAS AMPLIACIONES

A partir del proyecto desarrollado se plantean ampliaciones tanto a nivel de diseño como adaptaciones para convertirlo en un producto comercial.

White Jacket tiene mucho margen de mejora en la detección del entorno ya que utiliza una tecnología como es el sensor LiDAR que acaba de llegar a los dispositivos móviles. La principal mejora sería la optimización de la aplicación móvil para que tuviera el mínimo consumo de CPU y se alargara así la batería del dispositivo. Otro gran punto sería la mejora en la velocidad a la que el dispositivo escanea el entorno para poder conseguir que el usuario pueda moverse por el entorno de forma segura a mayor velocidad.

En cuanto al chaleco, podría mejorarse incorporando más tipos de motores de vibración que produjeran diferentes sensaciones y acabasen construyendo un lenguaje vibratorio que mejoraría la calidad de la información que se transmite al usuario. Además, podrían incorporarse motores en la parte trasera para informar de obstáculos previamente captados por el sensor que se encuentran a la espalda del usuario.

El siguiente gran apartado de mejoras sería la integración del sistema con tecnologías y soluciones ya existentes. Por ejemplo, una mejora considerable de la aplicación móvil sería la incorporación de guiado GPS junto con Realidad Aumentada para que un usuario pueda ser guiado a un destino desconocido mediante pulsos de vibración. De esta manera, se podrían crear rutas personalizadas para guiar a personas ciegas de manera segura. También se puede mejorar el sistema utilizando tecnologías de Computer Vision que sean capaces de identificar el entorno y, por ejemplo, puedan alertar de objetos de interés alrededor y guiar al usuario a los mismos.

Finalmente, la evolución a la que aspira White Jacket es a la eliminación del dispositivo móvil y a la incorporación de sus propios sensores o a su propia forma de obtener información del entorno con la misma o mejor precisión que la actual. Sin embargo, para lograr tal evolución se requeriría de un rediseño completo que encarecería los costes de fabricación y el precio final del producto.

CAPÍTULO 9. BIBLIOGRAFIA

- [1] J. Teodoro, *Emprendimiento por diseño con Toolboard Canvas*, Barcelona, 2023.
- [2] «World Health Organization,» [En línea]. Available: <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/blindness-and-visual-impairment>. [Último acceso: 23 1 2022].
- [3] R. D. Vasquez Salazar y A. A. Cardona Mesa, «Dispositivos de Asistencia para la movilidad en personas con discapacidad visual: Una Revisión Bibliográfica,» *Revista Politécnica*, pp. 107-116, 2019.
- [4] «Once,» [En línea]. Available: <https://www.once.es/dejanos-ayudarte/la-discapacidad-visual>. [Último acceso: 23 1 2022].
- [5] Redacción Barcelona, «Esto quieren decir los distintos colores de los bastones para personas ciegas,» *La Vanguardia*, 25 10 2021.
- [6] U. R. Roentgen, G. J. Gelderblom, M. Soede y L. P. de Witte, «Inventory of Electronic Mobility Aids for Persons with Visual Impairments: A Literature Review,» *Journal of Visual Impairment & Blindness*, 2008.
- [7] «wewalk,» [En línea]. Available: <https://wewalk.io/en/>. [Último acceso: 20 1 2022].
- [8] P. Vera, D. Zenteno y J. Salas, «A smartphone-based virtual white cane,» *Pattern Analysis and Applications*, 2013.
- [9] S. Carrato, S. Marsi, E. Medvet, F. Pellegrino, G. Ramponi y M. Vittori, «Computer vision for the blind: A dataset for experiments on face detection and recognition,» *2016*

39th International Convention on Information and Communication Technology, Electronics and Microelectronics (MIPRO), 2016.

[10 «KNFBreader,» [En línea]. Available: <https://knfbreader.com/get-it>. [Último acceso: 20
] 1 2022].

[11 R. Tapu, B. Mocanu y T. Zaharia, «A Computer Vision System that Ensure the
] Autonomous Navigation of Blind People,» *The 4th IEEE International Conference on
E-Health and Bioengineering - EHB 2013*, 2013.

[12 Hong Yu, Ruxia Hong, XiaoLei Huang y Zhengyou Wang, «Obstacle Detection with
] Deep Convolutional Neural Network,» *2013 Sixth International Symposium on
Computational Intelligence and Design*, 2013.

[13 Apple, «ARKit Documentation,» 28 1 2022. [En línea]. Available:
] <https://developer.apple.com/documentation/arkit>.

[14 Microsoft, «Microsoft HoloLens2,» [En línea]. Available:
] [https://www.microsoft.com/es-es/d/hololens-
2/91pnzzznzwcpc?activetab=pivot:informacióngeneraltab](https://www.microsoft.com/es-es/d/hololens-2/91pnzzznzwcpc?activetab=pivot:informacióngeneraltab). [Último acceso: 10 6 2022].

[15 Unity, «AR Foundation Documentation,» 28 1 2022. [En línea]. Available:
] <https://docs.unity3d.com/Packages/com.unity.xr.arfoundation@4.1/manual/index.html>.

[16 Microsoft, «Azure Cognitive Services,» [En línea]. Available:
] <https://azure.microsoft.com/es-es/services/cognitive-services/>. [Último acceso: 1 2
2022].

[17 Google, «Google Vision,» [En línea]. Available: <https://cloud.google.com/vision>.
] [Último acceso: 1 2 2022].

[18 Amazon, «Amazon Rekognition,» [En línea]. Available:
] <https://aws.amazon.com/es/rekognition/>. [Último acceso: 1 2 2022].

[19 «OpenCV,» [En línea]. Available: <https://opencv.org>. [Último acceso: 1 2 2022].
]

[20 S. Achari, «Medium,» [En línea]. Available:
] <https://medium.com/@vsreedharachari/practical-implementation-of-object-detection-on-video-with-opencv-and-yolo-v3-pre-trained-weights-a2d2995aac41>. [Último acceso: 7 2 2022].

[21 «Arduino.cc,» [En línea]. Available: <https://www.arduino.cc/en/Guide/Introduction>.
] [Último acceso: 20 4 2022].

[22 Raspberry Pi Foundation, «raspberrypi.org,» [En línea]. Available:
] <https://www.raspberrypi.org/about/>. [Último acceso: 20 4 2022].

[23 A. Lécuyer, «Simulating haptic feedback using vision: A survey of research and
] applications of pseudo-haptic feedback,» *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, pp. 39-53, 2009.

[24 M. L. Hofmann, «Design Thinking Die Methodik des Human Centered Design,» *Human
] Centered Design*, pp. 131-149, 2017.

[25 INE, «Instituto Nacional de Estadística,» [En línea]. Available:
] <https://www.ine.es/jaxi/Tabla.htm?path=/t15/p418/a2008/hogares/p01/modulo1/10/&file=01010.px&L=0>. [Último acceso: 22 6 14].

[26 Unity, «Unity AR Foundation,» [En línea]. Available:
] <https://docs.unity3d.com/Packages/com.unity.xr.arfoundation@4.1/manual/mesh-manager.html>. [Último acceso: 18 4 2022].

[27 mitma.gob, «Instituto Geografico Nacional,» [En línea]. Available:
] <https://www.mitma.gob.es/instituto-geografico-nacional/observacion-del-territorio/lidar>. [Último acceso: 18 4 2022].

[28 «Espressif Systems,» [En línea]. Available:
] <https://www.espressif.com/en/products/socs/esp32>. [Último acceso: 20 4 2022].

[29 [En línea]. Available: <https://randomnerdtutorials.com/esp32-bluetooth-low-energy-ble-arduino-ide/>. [Último acceso: 20 4 2022].

[30 O. M. d. I. Salud, Informe mundial sobre la visión, 2020.

]]