

# **ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL**

**FACULTAD DE INGENIERÍA DE SISTEMAS**

**INCLUSIÓN DIGITAL A TRAVÉS DEL JUEGO Y LA  
TECNOLOGÍA**

**DISEÑO Y ADAPTACIÓN DE DISPOSITIVOS DE  
ENTRADA PLUG & PLAY PARA PERSONAS CON  
DISCAPACIDAD MOTRIZ Y LIMITACIONES DE  
MOVILIDAD EN SUS MANOS**

**BETSABÉ ABIGAIL AMAGUAI PAULLAN**

betsabe.amaguai@epn.edu.ec

**DIRECTOR: MAYRA DEL CISNE CARRIÓN TORO**

mayra.carrion@epn.edu.ec

**DQM, AGOSTO 2024**

## **CERTIFICACIONES**

Yo, Betsabé Abigail Amaguai Paullan declaro que el trabajo de integración curricular aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

---

**BETSABE ABIGAIL AMAGUAI PAULLAN**

Certifico que el presente trabajo de integración curricular fue desarrollado por Betsabé Abigail Amaguai Paullan, bajo mi supervisión.

---

**MAYRA DEL CISNE CARRIÓN TORO**  
**DIRECTOR**

## **DECLARACIÓN DE AUTORÍA**

A través de la presente declaración, afirmamos que el trabajo de integración curricular aquí descrito, así como el (los) producto(s) resultante(s) del mismo, son públicos y estarán a disposición de la comunidad a través del repositorio institucional de la Escuela Politécnica Nacional; sin embargo, la titularidad de los derechos patrimoniales nos corresponde a los autores que hemos contribuido en el desarrollo del presente trabajo; observando para el efecto las disposiciones establecidas por el órgano competente en propiedad intelectual, la normativa interna y demás normas.

**BETSABÉ ABIGAIL AMAGUAI PAULLAN**

**Dra. MAYRA DEL CISNE CARRIÓN TORO**

**Dr. MARCO OSWALDO SANTORUM GAIBOR**

## **DEDICATORIA**

Dedico esta tesis con todo mi amor y gratitud a mi familia, quienes son el motor principal por el que día con día me esfuerzo, los amo infinitamente

## AGRADECIMIENTO

La verdad es que la parte más sentimental fue redactar esta sección, pues no me imagine que mi etapa de universidad finalizara tan pronto, lo sentí de este modo porque pasamos por una pandemia en la que casi dos años fueron de permanecer aislados en clases virtuales, pero a pesar de ello es reconfortante saber que las personas que amo siguen junto a mí.

Ahora bien, mi agradecimiento principal va hacia Dios, la razón es porque en todo el proceso de estudios creo absolutamente que fue favor y gracia por parte de él, entendí que muchas veces quiere que generemos planes y trabajemos sobre ellos, fue así como hoy logre cumplir el primero de todos los que tengo.

Es importante reconocer que mi familia me levanto muchas veces, me siento afortunada por el amor incondicional y apoyo constante. Mami y papi gracias, por inculcarme los valores de la dedicación, perseverancia, y por incentivar me a esforzarme pues la carrera no fue fácil pero ahora me siento orgullosa por la meta que alcance. A mis hermanos, por su aliento, amor, abrazos, risas y por creer en mí incluso en los momentos más difíciles.

Quisiera colocar en esta parte a mis abuelitos porque en verdad gran parte de la persona que soy se los debo a ellos, me enseñaron que, con trabajo duro, dedicación y sobre todo amor puedo lograr aquello que me proponga, esperaba poder tenerlos junto a mí en un día tan especial, pero uno de ustedes sé que me acompaña desde el cielo.

En mi corazón siempre estará presente una persona especial que me motivo a dar lo mejor de mí, esa persona que me dijo una vez “No te rindas sin antes haberlo dado todo”, ahora es mi turno de decírtelo que espero puedas cumplir tus metas y siempre ten presente que ahí estaré para celebrarlo contigo.

A la persona para quien se realizó el proyecto, gracias por tu amistad, el tiempo, la lección de vida que me diste, espero que así como tu contribuiste a mi crecimiento como persona también yo lo haya logrado hacer contigo.

A mis amigos, quienes han estado a mi lado en cada paso del camino, gracias por su compañía, consejos y por ofrecerme siempre una sonrisa y una palabra de aliento. Su amistad ha sido un pilar fundamental en este viaje académico.

A los miembros del Ludolab, les expreso mi más sincero agradecimiento por brindarme su ayuda en todo el proceso del proyecto y por haberme permitido formar una bonita amistad. Espero que este trabajo sea un incentivo para que las nuevas generaciones realicen sus proyectos con el fin de ayudar a otras personas.

Por último, quiero expresar mi más profundo agradecimiento a la Dra. Mayra Carrión por su invaluable ayuda durante todo este proceso. Su apoyo y orientación no solo han sido fundamentales para la culminación de este trabajo, sino que también me ha brindado su amistad, lo cual valoro enormemente. Asimismo, agradezco al Dr. Marco Oswaldo Santorum Gaibor por su constante motivación y valiosos consejos que han sido esenciales en cada etapa de este proyecto, son los mejores mentores que pude tener en mi etapa de universidad.

Finalmente, agradezco a todos aquellos que formaron parte de la culminación de esta tesis, gracias por su ayuda, tiempo, conocimiento y apoyo emocional.

A todos, mi más sincero agradecimiento los llevo en mi corazón.

# Índice general

<b>1</b>	<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	12
1.1.	Introducción .....	12
1.2.	Marco Teórico .....	14
1.3.	Resumen del capítulo.....	19
<b>2</b>	<b>METODOLOGÍA Y DESARROLLO</b> .....	20
	Metodología.....	20
2.1.	Metodología iPlus .....	21
2.1.1.	Fase de identificación .....	21
1.	Actividad 1: Identificación de participantes: .....	21
2.1.2.	Fase de definición de objetivos pedagógicos .....	22
1.	Actividad 1- Entrevista con el Product Owner:.....	22
2.	Actividad 2- Elaboración de diagramas de afinidad: .....	22
3.	Actividad 3- Definición del objetivo general: .....	23
4.	Actividad 4- Definición de los objetivos específicos: .....	24
2.1.3.	Fase de refinamiento .....	25
1.	Actividad 1: Refinamiento de ideas:.....	25
2.	Actividad 2- Definición de historias épicas: .....	25
2.2.	Desarrollo de iPlus .....	26
2.2.1.	Fase de identificación .....	26
2.2.2.	Fase de definición de objetivos pedagógicos .....	27
2.2.3.	Fase de refinamiento .....	29
2.3.	Marco de trabajo SCRUM.....	30
2.3.1.	EQUIPO SCRUM O ROL SCRUM .....	30
2.3.2.	Roles .....	31
2.3.3.	Eventos .....	31
2.3.4.	Artefactos .....	32
2.4.	Implementación de Scrum .....	32
2.5.	Metodología Prototipado .....	50
2.5.1.	Fase de construcción.....	50
2.5.2.	Fase de integración .....	56
2.6.	Resumen del capítulo.....	64
<b>3</b>	<b>RESULTADOS Y EVALUACIONES</b> .....	65
3.1	Fase de pruebas .....	65
3.2	Aplicación del SUS.....	67
3.3	Resultados .....	70

3.4	Análisis de resultados.....	71
3.5	Resumen del capítulo.....	71
4	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	72
4.1	Conclusiones .....	72
4.2	Recomendaciones.....	73
5	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	74
6	ANEXOS .....	77

# Índice de figuras

FIGURA 1.1: MPU6050 PINOUT.....	17
FIGURA 1.2: MPU9250 PINOUT.....	18
FIGURA 2.1: ETAPAS PARA EL DESARROLLO DEL SOFTWARE.....	20
FIGURA 2.2: FASES DE LA METODOLOGÍA IPLUS.....	21
FIGURA 2.3: LLUVIA DE IDEAS.....	23
FIGURA 2.4: OBJETIVO ESPECÍFICO.....	24
FIGURA 2.5: MATRIZ DE REFINAMIENTO.....	25
FIGURA 2.6: LLUVIA DE IDEAS ENTREVISTA.....	28
FIGURA 2.7: DIAGRAMA DE AFINIDAD.....	28
FIGURA 2.8: MARCO DE TRABAJO SCRUM.....	30
FIGURA 2.9: BURN DOWN SPRINT 1.....	38
FIGURA 2.10: PROTOTIPO ARDUINO LEONARDO.....	38
FIGURA 2.11: PROTOTIPO ARDUINO NANO ESP32.....	39
FIGURA 2.12: PROTOTIPO ESP32 C3 MINI.....	39
FIGURA 2.13: PROTOTIPO FINAL ESP32.....	40
FIGURA 2.14: PULSADOR 4x4x0.8H.....	40
FIGURA 2.15: PULSADOR 6x6x2.5 H.....	40
FIGURA 2.16: PULSADOR 12x12x7.3H.....	41
FIGURA 2.17: PULSADOR 2x4x3.5H.....	41
FIGURA 2.18: BURN DOWN SPRINT 2.....	43
FIGURA 2.19: IDEA GENERADA POR IA.....	43
FIGURA 2.20: DISEÑO DE IA.....	44
FIGURA 2.21: SUJECIÓN DEL USUARIO.....	44
FIGURA 2.22: BOCETO INICIAL PROTOTIPO.....	45
FIGURA 2.23: BOCETO DISTRIBUCIÓN DE TECLAS.....	45
FIGURA 2.24: MODELADO DISPOSITIVO DE ENTRADA 1.....	46
FIGURA 2.25: MODELO DISPOSITIVO CILÍNDRICO.....	46
FIGURA 2.26: MODELO PROTOTIPO FINAL.....	47
FIGURA 2.27: PARTE TRASERA DEL MODELO PROTOTIPO FINAL.....	47
FIGURA 2.28: MANILLA PROTOTIPO FINAL.....	48
FIGURA 2.29: BURN DOWN SPRINT 3.....	49
FIGURA 2.30: MÓDULO DE CARGA Y BATERÍA RECARGABLE.....	49
FIGURA 2.31: PROYECTO.....	50
FIGURA 2.32: MODELAMIENTO BLENDER CARCASA.....	57
FIGURA 2.33: CIRCUITO PROTOTIPO MOUSE Y KEYBOARD.....	58
FIGURA 2.34: ESQUEMÁTICO DEL PROTOTIPO FUNCIONAL.....	59
FIGURA 2.35: MODELAMIENTO EN PROTEUS.....	60
FIGURA 2.36: PCB LAYOUT.....	61
FIGURA 2.37: PCB IMPRESA.....	62
FIGURA 2.38: PARTE SUPERIOR DE CAJA BLE.....	62
FIGURA 2.39: PARTE FRONTAL DE CAJA BLE.....	62
FIGURA 2.40: PARTE SUPERIOR DERECHA DE CAJA BLE.....	63
FIGURA 2.41: IMPRESIÓN DEL CONTENEDOR DE LAS PLACAS.....	63
FIGURA 2.42: CARCASA FINAL DE LA MANILLA.....	64
FIGURA 3.1.1: PREGUNTAS PREDEFINIDAS SUS.....	65
FIGURA 3.2.1: PORCENTAJE SUS USUARIO FINAL.....	68
FIGURA 3.2.2: SUS EVIDENCIA.....	68
FIGURA 3.2.3: SCORE POR USUARIO.....	69
FIGURA 3.2.4: PARTE ANTERIOR Y POSTERIOR DEL BRAZO CON DISPOSITIVO.....	71

# Índice de Tablas

TABLA 1.1: CONFIGURACIÓN DE PINOUT MPU6050.....	18
TABLA 2.1:ACTIVIDAD IDENTIFICACIÓN DE PARTICIPANTES. ....	22
TABLA 2.2: ACTIVIDAD ELABORACIÓN DIAGRAMAS DE AFINIDAD. ....	22
TABLA 2.3: ACTIVIDAD ELABORACIÓN DE DIAGRAMAS DE AFINIDAD. ....	23
TABLA 2.4: ACTIVIDAD DEFINICIÓN DEL OBJETIVO GENERAL. ....	24
TABLA 2.5: ACTIVIDAD DEFINICIÓN DE LOS OBJETIVOS ESPECÍFICOS. ....	24
TABLA 2.6: ACTIVIDAD REFINAMIENTO DE IDEAS.....	25
TABLA 2.7: ACTIVIDAD DEFINICIÓN DE HISTORIAS ÉPICAS.....	26
TABLA 2.8: ROLES DE PARTICIPANTES. ....	26
TABLA 2.9: OBJETIVO GENERAL. ....	28
TABLA 2.10: DEFINICIÓN DE OBJETIVOS PEDAGÓGICOS ESPECÍFICOS.....	29
TABLA 2.11: ROLES PARA IDENTIFICACIÓN DE SCRUM. ....	33
TABLA 2.12: PRODUCT BACKLOG. ....	33
TABLA 2.13: PLANIFICACIÓN DE HISTORIAS DE USUARIO.....	35
TABLA 2.14:SPRINT BACKLOG SPRINT 1. ....	35
TABLA 2.15:SPRINT 1. ....	36
TABLA 2.16: NECESIDADES Y CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS.....	51
TABLA 2.17: SISTEMA DE CALIFICACIÓN MICROCONTROLADORES. ....	51
TABLA 2.18: SISTEMA DE CALIFICACIÓN PARA ALTERNATIVAS DE MANUFACTURA. ....	52
TABLA 2.19: SISTEMA DE CALIFICACIÓN PARA MÓDULO DE ACELERÓMETRO Y GIROSCOPIO.....	53
TABLA 2.20:ANÁLISIS DE ALTERNATIVA MICROCONTROLADORES. ....	54
TABLA 2.21:ANÁLISIS DE ALTERNATIVA MÓDULO.....	55
TABLA 2.22: DESCRIPCIÓN DE COMPONENTES DEL PROTOTIPO DE MANO.....	57
TABLA 2.23: MEDIDAS FINALES DEL PROTOTIPO. ....	58
TABLA 3.1.1: PUNTUACIÓN SEGÚN ESCALA DE LIKERT. ....	66
TABLA 3.1.2: SUS ESCALA.....	66
TABLA 3.2.1: RESULTADOS ACORDE A MÉTRICAS. ....	70

## RESUMEN

El presente proyecto de DTIC procura mostrar la discapacidad en la era digital como un tema que abarca controversias desde las herramientas básica de trabajo tales como dispositivos de entrada y salida hasta el uso de software que no provee usabilidad y accesibilidad para quienes lo necesitan. Tomando una muestra más puntual con respecto a las personas con discapacidad se visualiza menor atención a la discapacidad motriz debido a que abarcan más tipos de problemas lo que llevara a más temas sin resolver. En base a esta información nos centraremos en las personas con Artrogriposis Múltiple Congénita o AMC, actualmente, el término AMC es sólo una definición clínica de lo que, probablemente, sea un grupo heterogéneo de alteraciones cuyas características comunes son las rigideces y las deformidades articulares, con ausencia de desarrollo muscular alrededor de ellas, presentes al nacer y cuya evolución no progresa con la edad [1]. Se busca solventar la necesidad frente a la dificultad del uso de un mouse convencional, frente a ello se presenta la solución de un dispositivo de entrada que se adapte a la movilidad del usuario, por ello se hará un estudio previo para que tenga las funcionalidades básicas de un mouse y que además posean dos teclas del teclado de uso habitual para el usuario, con esto se dará paso a la formación de proyectos que abarquen software y hardware en conjunto con la inclusión digital que ayudará a mejorar la calidad de vida de las personas.

***PALABRAS CLAVE*** – Discapacidad, era digital, dispositivos de entrada y salida, usabilidad, accesibilidad, artrogriposis múltiple congénita (AMC), inclusión digital.

## **ABSTRACT**

This DTIC project seeks to show disability in the digital age as an issue that encompasses controversies from basic work tools, such as input and output devices, to the use of software that does not provide usability and accessibility for those who need it. Taking a more specific sample with respect to people with disabilities shows less focus on motor disability because they encompass more types of problems, which will result in more unresolved issues. Based on this information, we will focus on people with Arthrogryposis Multiplex Congenita or AMC. Currently, the term AMC is only a clinical definition of what is probably a heterogeneous group of disorders whose common features are joint stiffness and deformities. with absence of muscle development around them, present at birth and whose evolution does not progress with age. [1]. Seeks to solve the need for the difficulty of using a conventional mouse, in response to this is presented the solution of an input device that adapts to the mobility of the user, for this a previous study will be conducted to have the basic functionality of a mouse and also has two Keyboard keys commonly used by the user, this will lead to the formation of projects covering software and hardware in conjunction with digital inclusion that will help improve the quality of life of people.

**KEYWORDS** - Disability, digital age, input and output devices, usability, accessibility, arthrogryposis multiplex congenita (AMC), digital inclusion.

# Capítulo 1

## 1 INTRODUCCIÓN

### 1.1. Introducción

Hoy en día, los avances tecnológicos están abriendo nuevas puertas a la inclusión y autonomía de personas con capacidades especiales. La integración de proyectos que posean un diseño y modelamiento de dispositivos electrónicos que satisfagan específicamente las necesidades de las personas, brindaran un acceso más equitativo a la información y la comunicación, con ello aumentará su participación en la sociedad digital. Demostrando con esto el deseo no sólo de mejorar la calidad de vida, sino también de incluir la diversidad y el desarrollo de sus habilidades. La unión de software y hardware implementara los conceptos de ingeniería en software para el desarrollo del proyecto.

#### 1.1.1. Objetivos

#### 1.1.2. Objetivo General

El objetivo general de este componente es desarrollar una tecnología adaptativa utilizando impresión 3D, diseñada específicamente para abordar las necesidades motoras de las personas con artrogriposis múltiple congénita, con el propósito de mejorar su movilidad, independencia funcional y calidad de vida.

#### 1.1.3. Objetivos específicos

Para lograr el objetivo general, se han establecido los siguientes objetivos específicos:

1. Aplicar la metodología iPlus para realizar el levantamiento de necesidades mediante entrevistas y encuestas con el usuario con discapacidad motriz, identificando los requisitos específicos en términos de interacción con dispositivos electrónicos.
2. Utilizar la metodología de prototipado para diseñar y desarrollar una versión inicial, del dispositivo adaptativo, tomando en cuenta las preferencias y comentarios del usuario obtenidos durante el análisis de necesidades.
3. Realizar pruebas prácticas del prototipo en entornos del mundo real, involucrando al usuario con la discapacidad motriz, para evaluar la usabilidad, comodidad y eficacia del dispositivo.

4. Implementar características de personalización en el diseño del dispositivo, tales como forma para asegurar que sea adaptable a las necesidades individuales de los usuarios con Artrogriposis múltiple congénita.
5. Evaluar la usabilidad final del dispositivo adaptativo con ayuda de métodos de evaluación de usabilidad.

#### **1.1.4. Alcance**

Este proyecto tiene como alcance desarrollar un dispositivo de entrada adaptativo dirigido a personas con artrogriposis múltiple congénita (AMG), proporcionando una solución tecnológica integral que mejore la accesibilidad y la autonomía al interactuar con dispositivos electrónicos. El uso de la tecnología 3D está en el centro del diseño y fabricación de este dispositivo, con el objetivo de proporcionar una experiencia de usuario personalizada que pueda adaptarse fácilmente a sus necesidades específicas.

La accesibilidad es un criterio de diseño importante para crear dispositivos intuitivos y funcionales, la integración de la metodología iPlus con el análisis de las necesidades del usuario y la metodología de prototipado para el diseño de dispositivos permite un enfoque flexible y colaborativo que garantiza que el producto final cumpla con los estándares de usabilidad y personalización necesarios para garantizar la independencia del usuario. Las actividades que se llevarán a cabo para la ejecución del proyecto son las siguientes:

##### **a) Fase de diseño o planteamiento**

En esta etapa se estudiará detallado de las necesidades del usuario mediante la metodología iPlus. Se tomarán datos sobre las limitaciones específicas del usuario con Artrogriposis múltiple congénita a la hora de usar dispositivos electrónicos.

Se definirá los requisitos de accesibilidad y usabilidad del dispositivo adaptados con soluciones basadas en tecnología 3D. Se diseñará al menos dos diferentes dispositivos adaptativos, con diferentes opciones de botones, sensores táctiles u otros que puedan adaptarse a su preferencia.

##### **b) Fase de implementación**

En la fase de implementación, se imprimirá la solución física del dispositivo adaptativo con tecnología 3D. La construcción de los modelos experimentales

iterativos se realiza sobre la base de proyectos previamente establecidos. En esta etapa se tomará en cuenta la modularidad y personalización para que los dispositivos puedan adaptarse a las necesidades individuales del usuario.

**c) Fase que incluye: Pruebas o evaluación y el análisis de resultados.**

En esta etapa crítica, se llevarán a cabo pruebas experimentales del prototipo en un entorno real con la participación del usuario. Se evaluará en una listado la funcionalidad de los botones integrados y el movimiento del usuario referente al cursor en la pantalla.

Los resultados obtenidos se agregarán en la *Tabla 3.1* que determinara que se realizaron los ajustes finales al diseño y funcionalidad del dispositivo adaptativo, la interpretación profesional de los datos se realiza en colaboración con profesores y expertos en el campo de los trastornos del movimiento para garantizar la eficacia y adaptabilidad del dispositivo.

## **1.2. Marco Teórico**

### **1.2.1. Inclusión digital**

El mouse es un dispositivo de entrada utilizado para interactuar con interfaces gráficas en computadoras. Introducido comercialmente en la década de 1980, ha evolucionado desde sus primeras versiones mecánicas hasta los modernos dispositivos ópticos y láser. Su principal función es trasladar el cursor por la pantalla y permitir la selección, arrastre y ejecución de comandos mediante clics [2], [3].

- **Componentes y Tecnología**

Un mouse convencional generalmente consta de los siguientes componentes:

- 1. Cuerpo:** Diseño ergonómico para comodidad del usuario.
- 2. Sensores:** Originalmente bolas mecánicas, ahora mayoritariamente sensores ópticos o láser que detectan el movimiento en una superficie.
- 3. Botones:** Botones primarios (izquierdo y derecho) y uno o más botones adicionales, incluidos los de desplazamiento (Scroll).
- 4. Interfaz de Conexión:** Cableada (USB) o inalámbrica (Bluetooth o RF) [3].

## 1.2.2. Dispositivos adaptativos motrices

### 1. Usabilidad y Ergonomía

La ergonomía es un aspecto crucial en el diseño del mouse, ya que un uso prolongado puede causar problemas musculoesqueléticos, como el síndrome del túnel carpiano. Los diseños ergonómicos buscan minimizar el esfuerzo y la tensión en la muñeca y la mano, adaptándose a la postura natural del usuario [2].

### 2. Adaptaciones para Personas con Discapacidad Motriz

Para usuarios con discapacidades motrices, se han desarrollado versiones especializadas del mouse convencional. Estas incluyen:

- **Ratones de Bola (TrackBall):** Permiten el movimiento del cursor mediante una bola fija, ideal para usuarios con movilidad limitada en los brazos.
- **Ratones de Cabeza y Control por Voz:** Utilizan movimientos de la cabeza o comandos de voz para mover el cursor, ofreciendo alternativas a quienes no pueden usar los métodos tradicionales [2], [3].

## 1.2.3. Microcontroladores

Hay microcontroladores como la familia de dispositivos ESP32 y la familia de dispositivos Arduino, incluidos Nano ESP32 y Leonardo, que permiten a los usuarios crear sus propios dispositivos de entrada con capacidades avanzadas, como ratones Bluetooth de baja energía. Son dispositivos electrónicos que se programan para realizar acciones o instrucciones deseadas. Esta herramienta funciona como lo haría un ordenador, pero es más pequeña, más económica y suele utilizarse para tareas más detalladas [4].

### 1. ESP32

El módulo ESP32 es un microcontrolador de bajo costo con Wi-Fi/Bluetooth completa, integrada y certificada que no solo proporciona conectividad inalámbrica, sino que también posee un procesador integrado con interfaces para conectar múltiples dispositivos y diferentes periféricos. Se lo utiliza para aplicaciones que requieren procesamiento rápido y comunicaciones inalámbricas. Es ampliamente utilizado en

proyectos de IoT y dispositivos portátiles [5].

## **2. EP32 C3 Super Mini**

El ESP32-C3 Super Mini posee como base las características del ESP32 que tiene un núcleo RISC-V. Las funcionalidades que posee son similares, pero con un consumo de energía más eficiente, lo que sería ideal en el uso de dispositivos portátiles que son alimentados por batería, además, su versión respecto a Bluetooth es 5.0 dando una mejora en velocidad, alcance y capacidad de transmisión de datos, pero la compatibilidad con dispositivos antiguos generaría una desventaja ya que las mejoras en características no sería visibles se si se utiliza dispositivos de distintas generaciones [6] .

## **3. Arduino Nano ESP32**

El Arduino Nano ESP32 compone la simplicidad del ecosistema Arduino con la potencia del ESP32. Este dispositivo compacto es adecuado para proyectos donde el espacio es una limitación. Incluye conectividad Wi-Fi y Bluetooth, permitiendo la creación de periféricos inalámbricos, sin embargo. Al ser una placa nueva en la industria en términos de soporte respecto a la comunidad para la implementación de librerías no habría la solución esperada dando un problema al implementar un proyecto [7].

## **4. Arduino Leonardo**

El Arduino Leonardo es único entre las placas Arduino por su capacidad integrada de emular dispositivos USB, como teclados y ratones. Esto se debe a que utiliza el microcontrolador ATmega32u4, que tiene soporte nativo para la interfaz USB HID (Human Interface Device). Aunque no tiene conectividad BLE integrada, puede ser combinado con módulos BLE adicionales para lograr las funcionalidades esperadas [8].

### **1.2.4. PCB**

Diseñar una placa de circuito impreso es fundamental para integrar proyectos electrónicos, como definición se conocer que es un soporte físico donde se instalan los distintos elementos electrónicos y se interconectan entre ellos [9].

Como parte del proceso del diseño se tienen especificaciones que se deben considerar

como el microcontrolador, la alimentación y los componentes debido a que estos deben ser compactos y colocados en un esquema.

### Tipos de placas de circuito impreso

- **PCB de una cara:** Maneja un lado de la placa con conexiones eléctricas de cobre, lo que permite colocar los componentes en un solo lado.
- **PCB de doble cara:** Cobre en ambos lados de la base, lo que permite el uso de componentes en ambos lados en aplicaciones como máquinas expendedoras y amplificadores de audio.
- **PCB multicapa:** Utiliza múltiples capas para disipar el calor y extender la vida útil de los componentes utilizados en equipos médicos, tecnología GPS y servidores de almacenamiento.
- **PCB rígido y flexible:** Fabricado sobre un sustrato rígido para mayor durabilidad, como la placa base de un ordenador, o sobre un material flexible para adaptarse a espacios reducidos, aunque con un precio mayor [9].

## 1.2.5. Software de Diseño: Wowki Simulator

Wokwi es un simulador de electrónica en línea para simular Arduino, ESP32, STM32 y otras placas, componentes y sensores populares. Permite a los usuarios comenzar inmediatamente a codificar proyectos de IoT, compartir enlaces de proyectos para recibir comentarios y simular hardware sin riesgo de daños. Las características únicas incluyen emulación de Wi-Fi, analizador lógico virtual, depuración avanzada y emulación de tarjetas SD. Wokwi se integra con Visual Studio Code y admite la creación de sus propios chips, es de uso gratuito y hay funciones adicionales disponibles para usuarios profesionales registrados [10].

## 1.2.6. MPU 6050

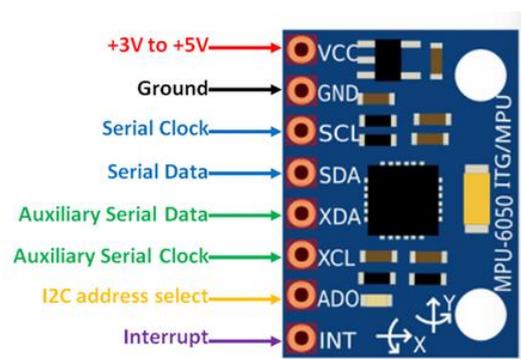


Figura 1.1: MPU6050 PinOut.

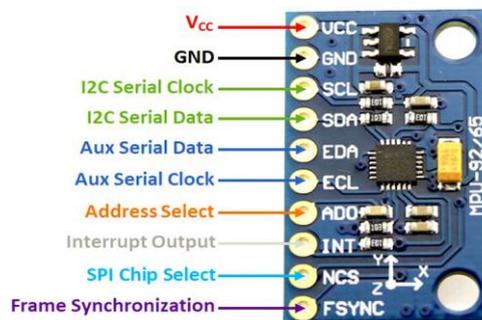
El MPU6050 es un módulo MEMS con un acelerómetro de 3 ejes y un giroscopio de 3 ejes. Mide aceleración, velocidad, orientación y desplazamiento. El módulo funciona a 3-5 V e intercambia datos a través de I2C. Incluye un ADC de 16 bits para alta precisión y un procesador de movimiento digital (DMP) para realizar cálculos complejos. Se utiliza ampliamente en drones, robots de auto equilibrio y sistemas de detección de posición [11], en la *Tabla 1.1* se detallara de que está compuesta.

*Tabla 1.1: Configuración de PinOut MPU6050.*

# PIN	Nombre	Descripción
1	VCC	Provee energía para el módulo.
2	GND	Conecta a tierra al sistema.
3	SCL	Genera pulso de reloj para comunicación I2C.
4	SDA	Usa los datos transferidos mediante comunicación I2C.
5	XDA	Opcional
6	XCL	Opcional
7	AD0	Varia la dirección.
8	INT	Interrumpe el pin para mostrar datos disponibles.

Generalmente se lo utiliza en aplicaciones de seguimiento de movimiento y navegación por la capacidad de combinar múltiples tipos de sensores en un solo chip. Estos sensores se utilizan en una variedad de dispositivos, desde drones y robots hasta dispositivos portátiles y sistemas de estabilización de cámaras.

### 1.2.7. MPU-9250



*Figura 1.2: MPU9250 PinOut.*

MPU9250 que se muestra en la *Figura 1.2* es un módulo sensor que integra un giroscopio de 3 ejes, un acelerómetro de 3 ejes, un magnetómetro de 3 ejes y un sensor de temperatura.

Se comunica a través de I2C o SPI e incluye auto prueba, calibración y varios modos de medición. Este módulo es adecuado para aplicaciones que requieren navegación, detección de movimiento y detección ambiental. Admite la configuración detallada de los parámetros del giroscopio, el acelerómetro y el magnetómetro, y proporciona un modo de disparo de movimiento de baja potencia y un modo FIFO para el procesamiento por lotes [12].

## **1.2.8. Herramientas de desarrollo**

### **1. Proteus**

Proteus Design Suite es un conjunto de herramientas de software para crear esquemas, modelar circuitos electrónicos e integrados y diseñar placas de circuito impreso. Incluye Proteus ISIS para esquemas y simulación y Proteus ARES para diseño de PCB. Es ampliamente utilizado por estudiantes y profesionales de ingeniería para simulación de circuitos, diseño de PCB y prueba de código de microcontroladores como Arduino, PIC y 8051. Proporciona un entorno virtual para probar diseños de prueba antes de implementar hardware, lo que ayuda a identificar y corregir errores al mismo tiempo [13].

### **2. Arduino IDE**

Arduino IDE posee un interfaz fácil de navegar por el usuario, además, se puede escribir, compilar y cargar bocetos en distintas placas que posean la compatibilidad con el firmware. Las características clave incluyen la configuración de la placa y los puertos, el uso del administrador de biblioteca integrado y una comprensión de la estructura básica de un boceto de Arduino por la amplia documentación [14].

## **1.3. Resumen del capítulo**

En este capítulo se introduce los avances tecnológicos y su papel en la inclusión y autonomía de personas con capacidades especiales, destacando el impacto positivo en su participación en la sociedad digital. El proyecto se enfoca en desarrollar una tecnología adaptativa utilizando impresión 3D para mejorar la movilidad y calidad de vida de personas con artrogriposis múltiple congénita. Para alcanzar este objetivo, se seguirán metodologías específicas como iPlus y prototipado, asegurando la personalización y eficacia del dispositivo mediante pruebas y evaluaciones en entornos reales. Se enfatiza la importancia de la accesibilidad y usabilidad en el diseño del dispositivo, buscando soluciones tecnológicas integrales que permitan una mayor independencia de los

usuarios.

## Capítulo 2

# 2 METODOLOGÍA Y DESARROLLO

## Metodología

En la siguiente sección se presenta las metodologías y marco de trabajo utilizadas para el desarrollo del proyecto “MouseBle”, que implica un enfoque en combinación de la metodología iPlus, el marco de trabajo Scrum y la creación de prototipos. Por un lado, se utilizó iPlus en la primera fase para centrarnos en los usuarios y guiar el proceso creativo a través de la obtención de requerimientos para el diseño de un dispositivo electrónico con enfoque a la inclusión [15], por consiguiente, Scrum en la fase de implementación y desarrollo del proyecto donde se utilizaron las historias de usuario para la creación del Product Backlog y posteriormente los Sprints Backlogs para lograr presentar el diseño de los sprints planteados y llegar a la sección donde se presenta su implementación [16].

Finalmente, en términos de creación del prototipo se trabajó bajo la metodología de prototipado en la que se parte desde la etapa de diseño en la que se presentan construcción, integración y pruebas de laboratorio en base al hardware obtenido [17]. Por lo tanto, se pudo realizar un desarrollo colaborativo iterativo para garantizar que cada componente cumpla con los requisitos y estándares requeridos como muestra la *Figura 2.1*:

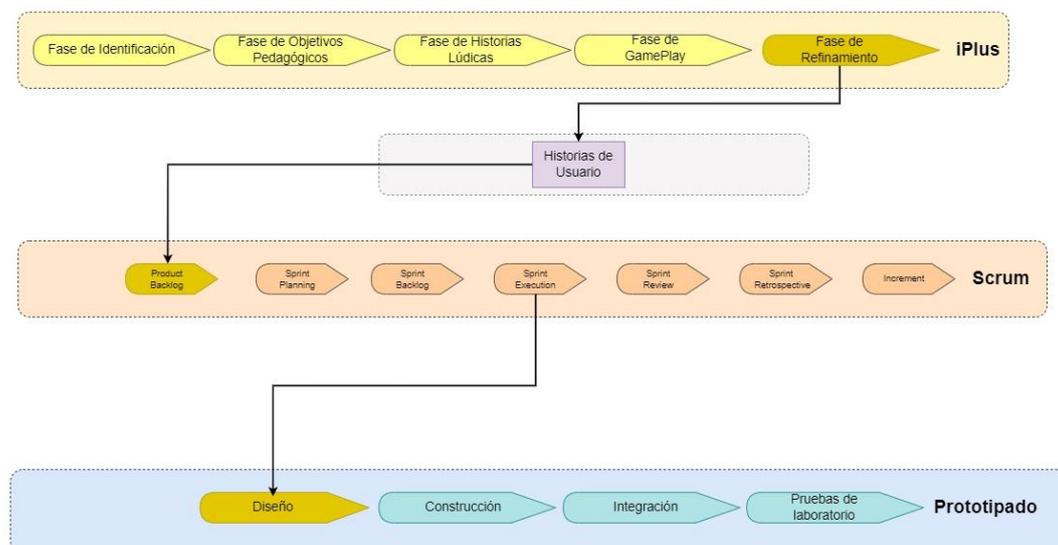


Figura 2.1: Etapas para el desarrollo del software.

## 2.1. Metodología iPlus

La siguiente metodología propuesta por la PhD, Mayra Carrión, fue creada para diseñar juegos serios educativos, dando un enfoque a la integración de diversas opiniones tales como expertos y los usuarios ya sea de manera activa y creativa. En el proyecto se utilizará la agilidad en la toma de requerimientos para posterior a esto tener las historias de usuarios épicas [15]. En la metodología existen cinco fases, como muestra la *Figura 2.2*:

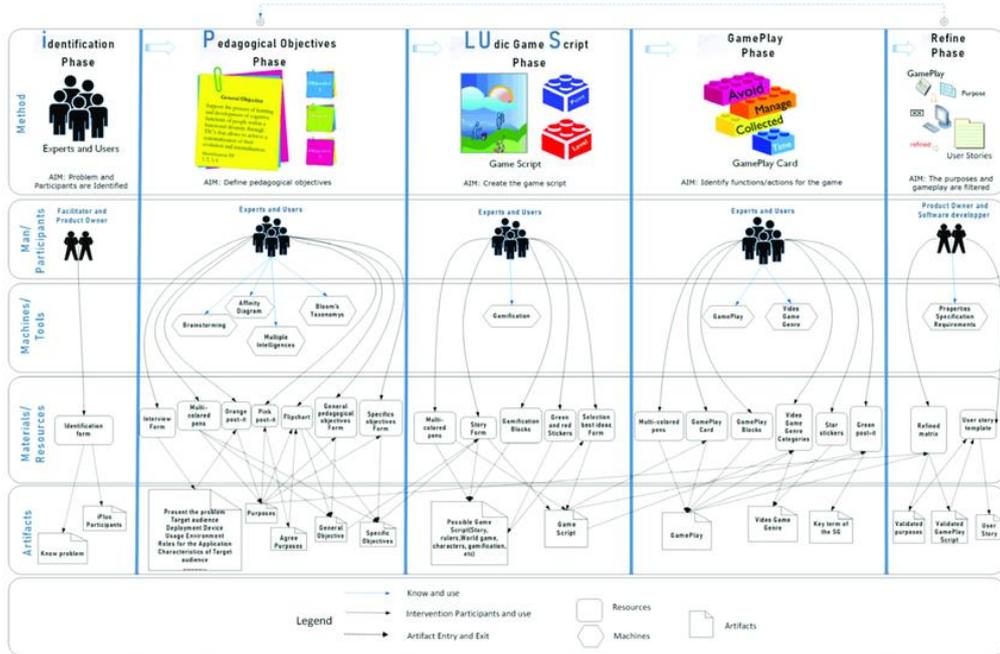


Figura 2.2: Fases de la Metodología iPlus.

### 2.1.1. Fase de identificación

Durante esta fase se debe hallar el problema al que se quiere dar solución con la participación del cliente. Después, se identifican los expertos involucrados en el desarrollo del proyecto. La actividad que son parte de la fase inicial es:

#### 1. Actividad 1: Identificación de participantes:

Actividad en la que se debe hallar a todo experto que se relaciona con el problema a resolver. La *Tabla 2.1* presenta detalladamente la actividad de identificación.

Tabla 2.1: Actividad identificación de Participantes.

<b>Objetivos</b>	Identificar los expertos involucrados en el diseño del dispositivo.
<b>Responsable</b>	Facilitador
<b>Participantes</b>	Product Owner
<b>Tiempo Duración</b>	N/A
<b>Materiales</b>	N/A
<b>Entregables</b>	Por confidencialidad no se puede mostrar datos de participantes.

## 2.1.2. Fase de definición de objetivos pedagógicos

En esta etapa, con la participación de todos los expertos en la etapa de identificación, se determina el propósito general y las tareas detalladas del dispositivo de entrada Plug&Play. En esta etapa, el experto en la materia es responsable de monitorear los resultados. Actividades relacionadas con esta fase:

### 1. Actividad 1- Entrevista con el Product Owner:

Actividad en la cual se realizará una entrevista utilizando preguntas relacionadas al problema a resolver. Los participantes adicionales que se encuentran en la entrevista anotarán las ideas, necesidades, inquietudes que el cliente o Product Owner manifieste durante la entrevista, las cuales serán transferidas a post-its de color naranja. La Tabla 2.2 muestra en detalle la actividad de la entrevista con el Product Owner.

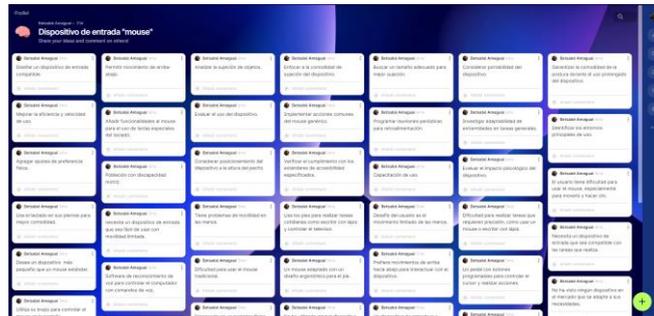
Tabla 2.2: Actividad Elaboración Diagramas de Afinidad.

<b>Objetivos</b>	Tomar requerimientos Product Owner.
<b>Responsable</b>	Facilitador
<b>Participantes</b>	Interesados
<b>Tiempo Duración</b>	120 minutos
<b>Materiales</b>	Padlet "Brainstorming"
<b>Entregables</b>	Documento de Entrevista de requerimientos en el <b>Anexo 1</b> .

### 2. Actividad 2- Elaboración de diagramas de afinidad:

La elaboración del diagrama de afinidad se realiza después de la entrevista utilizando la lluvia de ideas expuestas en la Figura 2.3. Cada necesidad expresada en la lluvia de

ideas está relacionada al problema, como se muestra en la *Figura 2.3*:



*Figura 2.3: Lluvia de ideas.*

Los participantes adicionales que se encuentran en la entrevista anotarán las ideas, necesidades, inquietudes que el cliente o Product Owner manifieste durante la entrevista, las cuales serán transferidas a post-its de color naranja. La Tabla 2.3 muestra la actividad para la Elaboración de diagramas de afinidad.

*Tabla 2.3: Actividad Elaboración de Diagramas de Afinidad.*

<b>Objetivos</b>	Tomar requerimientos acordes a un diagrama de afinidad.
<b>Responsable</b>	Facilitador
<b>Participantes</b>	Interesados
<b>Tiempo Duración</b>	120 minutos
<b>Materiales</b>	Padlet "Lluvia de ideas"
<b>Entregables</b>	Link al documento de Entrevista de requerimientos en el <b>Anexo 2</b> .

### 3. Actividad 3- Definición del objetivo general:

El especialista en la materia lidera un grupo de trabajo para desarrollar un concepto común después de examinar las ideas de todas los post-it, que identificarán tareas comunes, la *Tabla 2.4* detalla las actividades para identificar objetivos pedagógicos generales:

Tabla 2.4: Actividad Definición del objetivo general.

<b>Objetivos</b>	Precisar el objetivo general
<b>Responsable</b>	Experto en el tema
<b>Participantes</b>	Interesados
<b>Tiempo Duración</b>	30 minutos
<b>Materiales</b>	Documento plantilla de Word
<b>Entregables</b>	Documento Formulario de Objetivos Pedagógicos en el <b>Anexo 3</b> .

#### 4. Actividad 4- Definición de los objetivos específicos:

Los expertos en la materia revisarán los objetivos que agregan valor a objetivos de aprendizaje específicos, buscando conexiones entre estos objetivos y las ideas escritas en los post-its como se observa en la Figura 2.4:

Objetivo Específico De La Aplicación Número: 2		Prioridad: ★★ ★
Rol del Experto: Usuario Final		
Título del Objetivo: Solución al problema		
Descripción del objetivo: El usuario final necesita que el dispositivo de entrada sea fácil de manejar manteniendo una postura cómoda, bajo similitud de rendimiento en comparación a mouse comunes.		
Ideas relacionadas (Post-its naranjas):		
<div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: flex-start;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: 30%; text-align: center;">2.1. Garantizar la comodidad de la postura durante el uso prolongado del dispositivo.</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: 30%; text-align: center;">2.2. Implementar acciones comunes del mouse genérico.</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: 30%; text-align: center;">2.3. Considerar posicionamiento del dispositivo a la altura del pecho.</div> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: flex-start; margin-top: 10px;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: 30%; text-align: center;">2.4. Permitir movimiento de arriba-abajo.</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: 30%; text-align: center;">2.5. Enfocar a la comodidad de sujeción del dispositivo.</div> </div>		

Figura 2.4: Objetivo específico.

La Tabla 2.5 presenta actividades para identificar los objetivos específicos:

Tabla 2.5: Actividad Definición de los Objetivos Específicos.

<b>Objetivos</b>	Precisar objetivos específicos
<b>Responsable</b>	Facilitador
<b>Participantes</b>	Interesados
<b>Tiempo Duración</b>	30 minutos
<b>Materiales</b>	Documento Word plantilla
<b>Entregables</b>	Documento Formulario de Objetivos Pedagógicos en el <b>Anexo 4</b> .

Es necesario destacar que en este punto únicamente se han registrado las fases que

formaron parte del proyecto, puesto que el proyecto no se específicamente un juego serio sino un prototipo funcional.

### 2.1.3. Fase de refinamiento

Durante esta última etapa se receptan los requisitos escritos en forma de historias de usuario épicas, siendo estos artefactos entrada a cualquier enfoque ágil para continuar con su desarrollo. Las actividades presentes en esta etapa son:

#### 1. Actividad 1: Refinamiento de ideas:

Esta actividad permite refinar cada una de las ideas o necesidades a través de las propiedades de requerimientos como, por ejemplo: adecuado, factible, necesario, entre otros. Tal como se presenta en un ejemplo de la Figura 2.5:

Preguntas	Propósito	OBLIGATORIOS ACEPTABLES									
		¿Los requerimientos están claros, no están ambiguos?	¿El requerimiento es factible o deseable a pesar de las limitaciones del sistema? ¿se puede implementar con los recursos disponibles? ¿El requerimiento tiene alguna asociación?	¿El requerimiento es correcto y representa la necesidad real que el cliente necesita?	¿El requerimiento es apropiado para el contexto del proceso de desarrollo?	¿El requerimiento es verificable mediante un caso de prueba?	¿El requerimiento es completo describe la necesidad del cliente sin necesidad de analizarlo?	¿El requerimiento es necesario, ¿se incluye como requisito en sí mismo o depende de otros requerimientos?	¿El requerimiento establece una sola característica, es simple o puede descomponerse en varios?	¿El requerimiento es consistente no contradice a otros requerimientos o no se encuentra en conflicto con otros requerimientos?	¿El requerimiento puede ser modificado en su estructura, estilo o alcance del producto?
HT-01	Realizar el análisis de requisitos										
HT-02	Realizar el análisis de requisitos										
HT-03	Realizar el análisis de requisitos										
HT-04	Realizar el análisis de requisitos										
HT-05	Realizar el análisis de requisitos										

Figura 2.5: Matriz de Refinamiento.

Llevando a calificar las ideas que necesitan ser más puntuales y aquellas que no se podrán realizar, La Tabla 2.6. se presenta el detalle de actividades para la parte de refinamiento.

Tabla 2.6: Actividad Refinamiento de Ideas.

<b>Objetivos</b>	Agrupar ideas en relación de objetivos.
<b>Responsable</b>	Desarrollador
<b>Participantes</b>	Desarrollador
<b>Tiempo Duración</b>	NA
<b>Materiales</b>	Documento de Objetivos. Cuestionario para validación de requisitos
<b>Entregables</b>	Matriz de Refinamiento en el <b>Anexo 3</b> .

#### 2. Actividad 2- Definición de historias épicas:

Esta actividad tiene por objetivo obtener las Historias de usuarios épicas para continuar con el desarrollo del proyecto. Se utiliza la información anterior, incluidos los roles

identificados en las entrevistas, las descripciones de los objetivos y las ideas refinadas. Esta es la última actividad de iPlus y se determinan los requisitos. La *Tabla 2.7* muestra la actividad de definición de historias épicas.

*Tabla 2.7: Actividad Definición de Historias Épicas.*

<b>Objetivos</b>	Definición de las historias épicas
<b>Responsable</b>	Desarrollador
<b>Participantes</b>	Desarrollador
<b>Tiempo Duración</b>	NA
<b>Materiales</b>	Documento de Objetivos. Cuestionario para validación de requisitos
<b>Entregables</b>	Historias épicas a partir de matriz de refinamiento en el <b>Anexo 3</b> .

## 2.2. Desarrollo de iPlus

Para el desarrollo del proyecto se utilizó la metodología de iPlus, permitiendo con ello un trabajo colaborativo que llevo a la obtención de las necesidades del usuario, y el diseño del prototipo funcional. El trabajo multidisciplinario y colaborativo que permite la metodología iPlus nos ayudó en la comprensión y especificaciones claras del trabajo a realizar.

### 2.2.1. Fase de identificación

En la *Tabla 2.8* se muestran los roles de las personas que forman parte del equipo como involucrados para la definición de requerimientos del desarrollo del proyecto, tal como se detalla en el **Anexo 1** Formulario de identificación.

*Tabla 2.8: Roles de participantes.*

<b>Rol Participante</b>	<b>Nombres completos</b>	<b>e-mail contacto</b>	<b>Teléfono contacto</b>
<b>Experto diseñador y programador</b>	Betsabé Abigail Amaguai Paullan	betsabe.amaguai@epn.edu.ec	0912134567

<b>Rol Participante</b>	<b>Nombres completos</b>	<b>e-mail contacto</b>	<b>Teléfono contacto</b>
<b>Dueño del producto</b>	Mayra del Cisne Carrión Toro, Marco Santorum	mayra.carrion@epn.edu.ec	09923123456
<b>Experto en usabilidad</b>	María Pérez, Julián Galindo	maria.perez@epn.edu.ec, julian.galindo@epn.edu.ec	0909889675
<b>Usuario Final</b>	Confidencial	Confidencial	Confidencial
<b>Tutor especialista en estudiantes vulnerables</b>	Confidencial	Confidencial	Confidencial

## 2.2.2. Fase de definición de objetivos pedagógicos

### Actividad 1. Entrevista al Product Owner

Se realizó una entrevista a nuestro cliente y tutor especialista, sus datos se encuentran en el **Anexo 1**: Formulario de Entrevista. El principal objetivo de la reunión era obtener la comprensión exacta de las necesidades del usuario para poder plasmar una solución viable en la solución al problema.

### Actividad 2. Elaboración del diagrama de afinidad

En primer lugar, se muestra la *Figura 2.6* que es la lluvia de ideas entrevista, además, se mostrará un ejemplo del diagrama de afinidad en la *Figura 2.7* que forman parte las ideas generadas durante la entrevista. El detalle de esto se encuentra en el **Anexo 1**: Diagrama de afinidad, se da una visualización de la comprensión respecto a las propuestas establecidas.

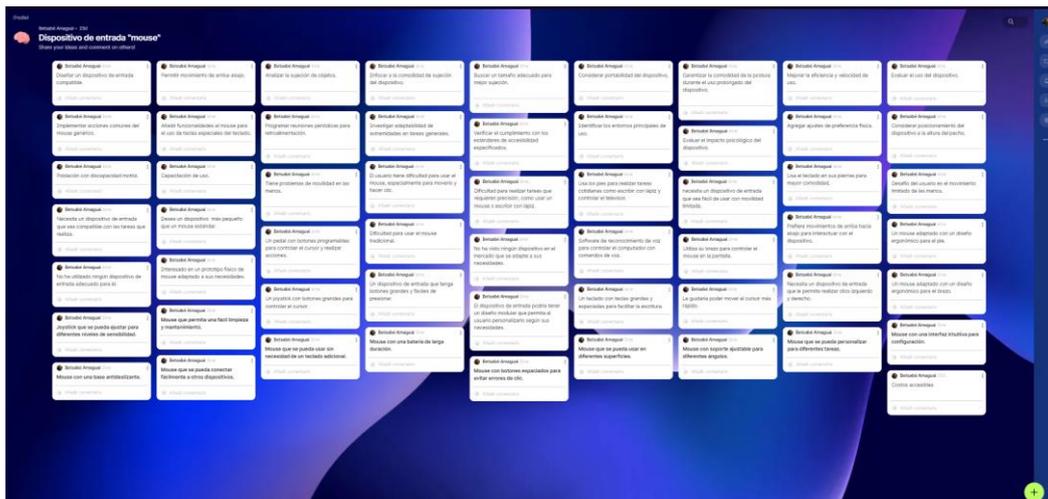


Figura 2.6: Lluvia de ideas entrevista.

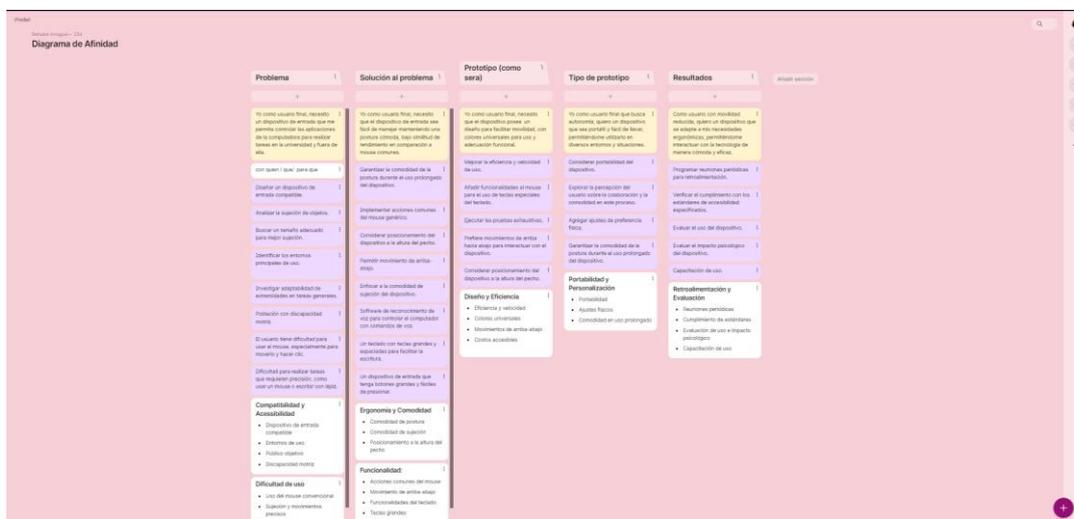


Figura 2.7: Diagrama de Afinidad.

### Actividad 3. Definición del objetivo pedagógico general

El objetivo pedagógico general que se definió con ayuda de la lluvia de ideas se plasma en la **Tabla 2.9 del Anexo 2: Formulario de Objetivos Pedagógicos**.

Tabla 2.9: Objetivo General.

<b>OBJETIVO GENERAL</b>
Diseñar y desarrollar un dispositivo adaptativo utilizando tecnología 3D para satisfacer las necesidades de las personas con discapacidades motriz, que padecen de artrogriposis múltiple congénita. La creación de una solución tecnológica integral dará paso a la mejora de accesibilidad y fomentará la independencia de este grupo de usuarios a la hora de interactuar con dispositivos electrónicos.
<b>Identificación P.R:</b>
1,2

#### Actividad 4. Formulación de objetivos pedagógicos específicos

Se mostrarán en una *Tabla 2.10* los resultados de definición de Objetivos Pedagógicos Específicos que se encuentra a detalle en el **Anexo 2**.

*Tabla 2.10: Definición de Objetivos Pedagógicos Específicos.*

<b>OBJETIVOS PEDAGÓGICOS ESPECÍFICOS</b>
Controlar las aplicaciones de la computadora para realizar tareas en la universidad y fuera de ella.
Manejar fácilmente el dispositivo de entrada, manteniendo una postura cómoda bajo similitud de rendimiento en comparación a mouse comunes.
Tener un diseño para facilitar movilidad, con colores universales para uso y adecuación funcional.
Buscar autonomía, con un dispositivo portátil y fácil de llevar, permitiendo utilizarlo en diversos entornos y situaciones.
Adaptara a las necesidades ergonómicas del usuario que logre interactuar con la tecnología de manera cómoda y eficaz.

#### Actividad 5. Relacionar propósitos con los objetivos pedagógicos específicos:

Como parte del **Anexo 2**. Formulario de Objetivos Pedagógicos se visualizan los resultados en donde se relacionó los propósitos con los objetivos pedagógicos específicos.

### 2.2.3. Fase de refinamiento

#### Actividad 1. Refinamiento de ideas:

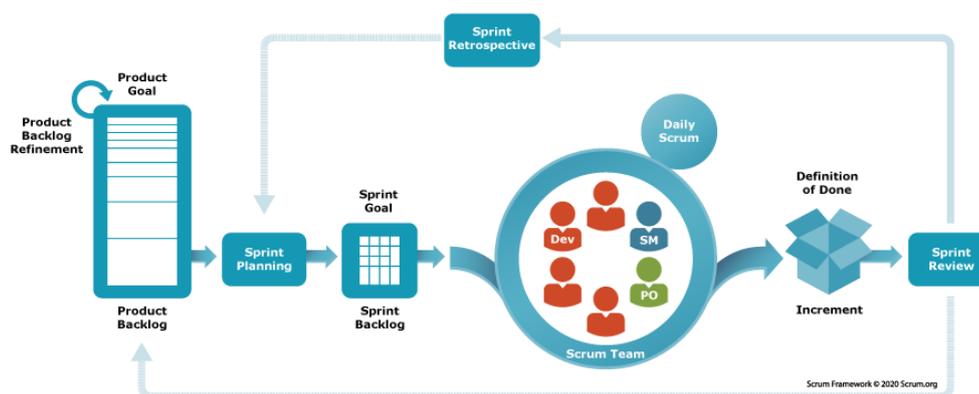
Esta actividad de refinamiento de ideas se detalla en el **Anexo 3**, la cual permite observar en base a las propiedades de requerimientos válidos y no válidos, para posterior a ello permitir obtener las necesidades adecuadas que cumplan con el propósito del proyecto.

## Actividad 2. Definición de historias épicas:

Las Historias de usuario completas se las presenta en el apartado del **Anexo 3**, en una pestaña con su mismo nombre, estas muestran una visión general de los principales objetivos del proyecto y sirven como referencia para pasar a planificar y desarrollar funciones específicas en la parte del prototipo funcional.

## 2.3. Marco de trabajo SCRUM

Scrum es un marco metodológico para la gestión integral del desarrollo de productos, cuyo propósito es maximizar la eficiencia, adaptabilidad y calidad dentro de los proyectos. Este método es especialmente eficaz en entornos dinámicos donde la entrega temprana y continua de software funcional es esencial. Basado en un proceso iterativo, Scrum se fundamenta en principios de transparencia, revisión y ajuste para fomentar la mejora continua. Al definir roles, eventos y artefactos específicos, Scrum facilita el trabajo en equipo, la responsabilidad y el avance hacia objetivos claramente definidos. Esta estructura incluye procesos simplificados que garantizan la satisfacción del cliente y un desarrollo ágil de productos [18]. La *Figura 2.8* ilustra los componentes de este marco, que se describen en las siguientes secciones según la guía Scrum de Ken Schwaber y Jeff Sutherland [16].



*Figura 2.8: Marco de Trabajo Scrum.*

### 2.3.1. EQUIPO SCRUM O ROL SCRUM

La unidad fundamental de Scrum es el Scrum Team, un grupo reducido conformado por el Scrum Master, el Product Owner y el Desarrollador. En un equipo Scrum no existen divisiones, subgrupos ni jerarquías, ya que es un conjunto de especialistas bien

coordinados con un objetivo común.

Los equipos Scrum son multifuncionales, lo que implica que sus miembros tienen todas las competencias necesarias para crear valor en cada sprint. Además, poseen la autonomía para decidir quién ejecuta cada tarea, cuándo y cómo. Los equipos Scrum son lo suficientemente pequeños para ser ágiles y lo bastante grandes para completar trabajos importantes en un solo sprint. Por lo general, el equipo no supera las diez personas [19].

## 2.3.2. Roles

Los roles en Scrum son esenciales para la gestión de productos, la simplificación de procesos y el desarrollo incremental, formando la base para una implementación eficaz del marco. Los eventos en Scrum organizan el trabajo y fomentan la transparencia y el progreso continuo del proyecto [18].

- **Product Owner:** Responsable de maximizar el valor del producto y mantener contacto directo con el cliente. Sus funciones incluyen:
  - Desarrollar y comunicar claramente los objetivos del producto.
  - Crear, compartir y organizar elementos del Product Backlog.
  - Asegurar que el Product Backlog sea claro y comprensible.
- **Scrum Master:** Garantiza el cumplimiento de Scrum según la Guía Scrum. Facilita la comprensión y la práctica de Scrum en equipos y organizaciones, y asegura la eficacia del equipo Scrum.
- **Desarrolladores:** Expertos en el equipo Scrum que trabajan en todos los aspectos del proceso de desarrollo, creando incrementos funcionales en cada sprint. Las habilidades requeridas varían según el campo laboral.

## 2.3.3. Eventos

Los eventos principales que guían el ciclo de vida del Sprint son cruciales para la gestión y creación de valor en Scrum. Cada artefacto tiene un propósito definido y contribuye a una comprensión compartida del trabajo y del progreso [19].

- **Sprint:** Un ciclo de trabajo de duración fija, de un mes o menos, en el cual se realiza una cantidad específica de trabajo. Un nuevo sprint comienza inmediatamente después del anterior.
- **Sprint Planning:** Reunión en la que el equipo Scrum planifica y selecciona las

tareas a completar durante el sprint.

- **Daily Scrum:** Reunión diaria de 15 minutos para que los desarrolladores del equipo Scrum revisen el progreso y ajusten el trabajo según sea necesario. Se realiza a la misma hora y en el mismo lugar cada día laboral del sprint.
- **Sprint Review:** Revisión de los resultados del sprint para determinar ajustes futuros. El equipo Scrum presenta su trabajo a las partes interesadas y revisa el progreso hacia los objetivos del producto.
- **Sprint Retrospective:** Reunión para planificar mejoras en la calidad y eficiencia del equipo, identificar defectos y analizar qué salió bien y qué no durante el sprint.

### 2.3.4. Artefactos

Los artefactos en Scrum son elementos cruciales que apoyan la gestión y entrega de valor. Cada uno tiene un propósito definido y contribuye a una comprensión compartida del trabajo y del progreso. Aquí se destacan los artefactos clave en el marco de Scrum [19]:

- **Product Backlog:** Una lista priorizada de tareas necesarias para desarrollar el producto. Es funcional, no técnico, y es responsabilidad del Product Owner. El refinamiento es el proceso de dividir y detallar los elementos del backlog en unidades más pequeñas y precisas.
- **Sprint Backlog:** Un subconjunto del Product Backlog que incluye el objetivo del Sprint (por qué), los elementos seleccionados para el Sprint (qué) y un plan de acción (cómo). Es un plan creado por y para los desarrolladores.
- **Incrementos:** Pasos específicos para alcanzar los objetivos del producto. Cada incremento se basa en los anteriores y se prueba exhaustivamente para asegurar la integración y funcionalidad. Para aportar valor, el desarrollo debe ser accesible [16].

## 2.4. Implementación de Scrum

- **Roles**

Se muestra a continuación en la *Tabla 2.11* con los roles que se identifican para la aplicación del marco de trabajo.

Tabla 2.11: Roles para identificación de Scrum.

<b>Rol</b>	<b>Encargado</b>
Product Owner	Betsabé Amaguai
Scrum Master	Betsabé Amaguai
Equipo de Desarrollo	Betsabé Amaguai

- **Artefactos**

- **Product Backlog**

Se presenta la lista priorizada y actualizada en base a las funcionalidades, requisitos y mejoras que se darán para el desarrollo del proyecto, la *Tabla 2.12*.

Tabla 2.12: Product Backlog.

<b>HISTORIAS DE</b>			
<b>ID</b>	<b>USUARIO</b>	<b>PRIORIDAD</b>	<b>ESTIMACIÓN (horas)</b>
<b>HU 001-01</b>	Como un usuario con movilidad limitada, quiero que el dispositivo sea cómodo de sujetar y de un tamaño adecuado, para poder usarlo durante largos periodos sin molestias.	Alta	20
<b>HU 002-01</b>	Como usuario, quiero que el dispositivo tenga una sensibilidad ajustable para garantizar que coincida con sus capacidades de movimiento.	Alta	17
<b>HU 003-01</b>	Como usuario, quiero botones que sean fácilmente accesibles y ajustables a la mano para garantizar la facilidad de uso.	Alta	15

<b>HISTORIAS DE</b>			
<b>ID</b>	<b>USUARIO</b>	<b>PRIORIDAD</b>	<b>ESTIMACIÓN (horas)</b>
<b>HU 002-02</b>	Como usuario, quiero que el dispositivo admita funciones de clic derecho e izquierdo para garantizar una usabilidad completa.	Alta	15
<b>HU 002-03</b>	Como director de proyecto, quiero que el dispositivo sea asequible para garantizar que sea accesible a un público más amplio.	Alta	20
<b>HU 001-02</b>	Como usuario, quiero que el dispositivo se integre con las teclas SHIFT y ALT+GR para realizar varias funciones.	Media	11
<b>HU 001-03</b>	Como usuario, quiero que el dispositivo tenga una duración de batería de al menos un día completo para un uso ininterrumpido.	Media	11
<b>HU 001-04</b>	Como usuario, quiero sesiones de capacitación integrales para comprender cómo usar el dispositivo de manera efectiva.	Media	11

- **Release planning**

La planificación de las historias de usuario que se efectuaran por cada sprint se presenta en la *Tabla 2.13*:

*Tabla 2.13: Planificación de historias de usuario.*

<b>Sprint 1</b>	<b>Sprint 2</b>	<b>Sprint 3</b>
HU 002-02	HU 001-01	HU 003-01
HU 001-02	HU 002-03	HU 001-03
HU 002-01		HU 001-04

- **Ejecución de sprint Backlog**

- **Sprint 1**

- 1. Objetivo del sprint**

Para el objetivo del Sprint 1 se plantea desarrollar y dar la mejora respecto a funcionalidad del dispositivo de entrada bajo los comandos comunes de un mouse, además, agregar los botones que permitirán un fácil manejo, detección y envío de comandos. La capacidad del ajuste en sensibilidad mediante la interfaz propia del sistema operativo y que los cambios se pueden dar en tiempo real sin necesidad de reiniciar el dispositivo.

- 2. Planificación del sprint**

Se planearon las siguientes actividades para lograr el objetivo del Sprint 1, para lograr crear un dispositivo de entrada funcional. La planificación con las historias de usuario se visualiza en la *Tabla 2.14* a detalle del **Anexo 4** de la Planificación Scrum.

*Tabla 2.14: Sprint Backlog Sprint 1.*

<b>#</b>	<b>Tarea</b>
T-13	Diseñar funcionalidad de clic derecho
T-14	Diseñar funcionalidad de clic izquierdo.
T-15	Implementar clic derecho.
T-16	Implementar clic izquierdo.
T-17	Verificar la funcionalidad con el sistema operativo.

#	Tarea
T-11	Desarrollar la funcionalidad para detectar la presión de las teclas SHIFT y ALT+GR.
T-12	Implementar el envío de comandos correspondientes al detectar estas teclas.
T-05	Investigar métodos de ajuste de sensibilidad en dispositivos similares.
T-06	Verificar el ajuste de sensibilidad en el sistema operativo.
T-07	Integrar la funcionalidad de ajuste de sensibilidad en el software del dispositivo.

### 3. Revisión del sprint

Durante el Sprint 1, se pudo completar exitosamente las funcionalidades del dispositivo de entrada. Los resultados obtenidos por el sprint se visualizan en la *Tabla 2.15* con detalle en el **Anexo 4** de la Planificación Scrum.

*Tabla 2.15: Sprint 1.*

Historia de Usuario	Criterio de Aceptación	Cumplimiento
HU 002-02	Los botones de clic derecho e izquierdo deben estar claramente	Si
	identificados y ser de fácil acceso	Si
	El dispositivo debe permitir realizar clics derecho e izquierdo de	Si
	manera precisa y	Si

Historia de Usuario	Criterio de Aceptación	Cumplimiento
	rápida.	
		Si
HU 001-02	El dispositivo debe reconocer y enviar comandos cuando se presionen las teclas SHIFT y ALT+GR.	Si
		Si
HU 002-01	El dispositivo debe permitir ajustar la sensibilidad a través del interfaz propio del sistema operativo.	Si
		Si
	Los cambios en la sensibilidad deben aplicarse en tiempo real sin necesidad de reiniciar el dispositivo.	Si

#### 4. Sprint retrospective

En la siguiente *Figura 2.9*: se muestra la alineación cercana de ambas líneas sugiere que el equipo está siguiendo de cerca el plan original, ajustándose bien a los tiempos estimados y manteniendo el ritmo necesario para completar el sprint dentro del plazo.

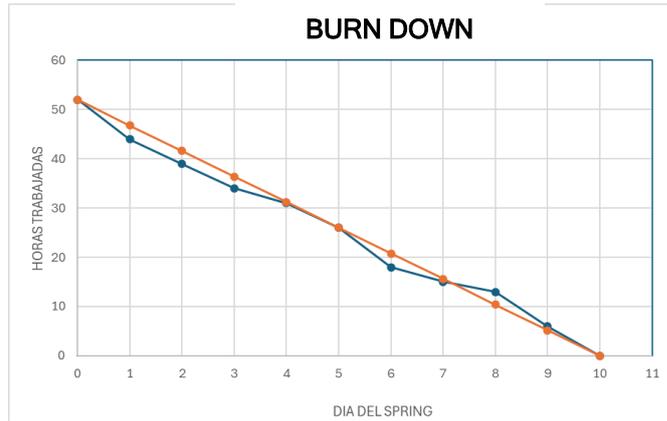


Figura 2.9: Burn down Sprint 1.

Para mayor detalle se puede observar el Anexo 4.

## 5. Resultados

La integración del circuito inicial parte de investigar la compatibilidad de librerías que posean las funcionalidades de mouse y Keyboard, es por ello que inicialmente se generó en un microcontrolador HID llamado Arduino Leonardo, no obstante, cumplió con la funcionalidad de teclado y mouse, pero no tenía el tamaño compacto que se necesitaba como se presenta la *Figura 2.9*.

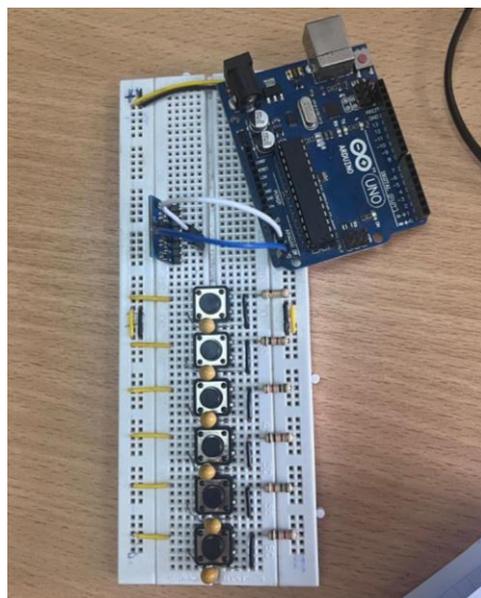
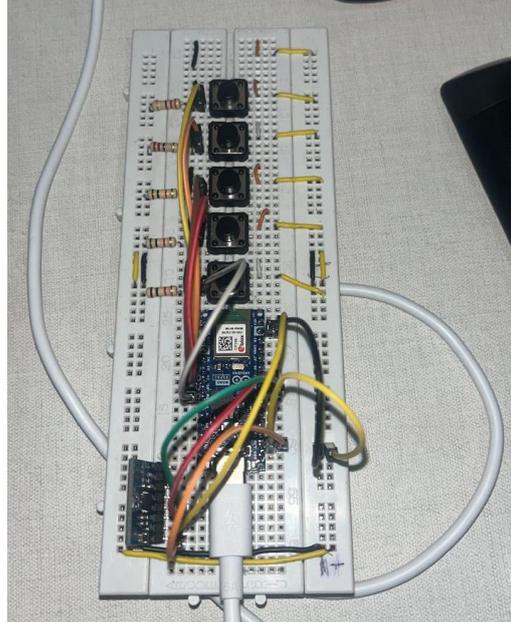


Figura 2.10: Prototipo Arduino Leonardo.

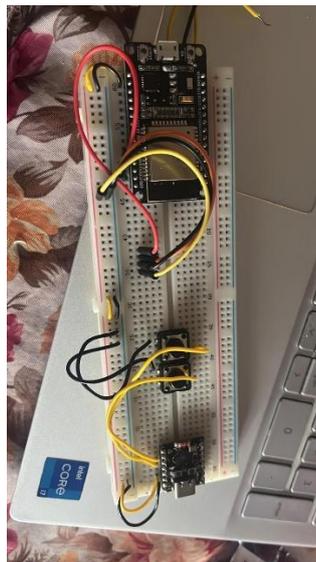
Después, al considerar el tamaño y compatibilidad con las librerías se realizó el cambio del microcontrolador por un dispositivo Arduino Nano Esp32. El módulo logro funcionar como mouse y Keyboard

independientes, pero con mayor lentitud en el cursor en comparación al dispositivo utilizado inicialmente, el prototipo se muestra en la *Figura 2.10*.



*Figura 2.11: Prototipo Arduino Nano ESP32.*

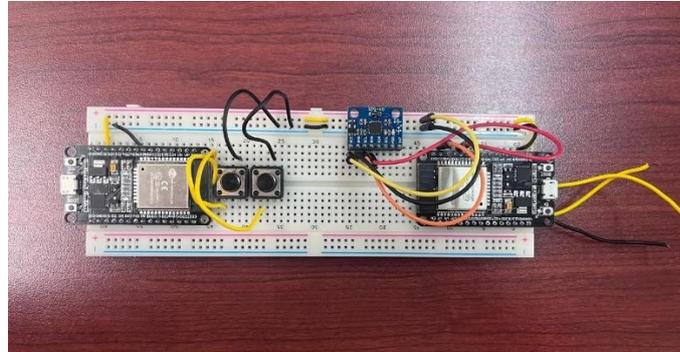
Al ver el fallo con respecto a velocidad se consideró utilizar una placa ESP32 C3 Mini y una ESP32 para que cada una funcionara como mouse y Keyboard. El problema radica en la incompatibilidad de librería por la versión del Bluetooth ya que es una placa integrada recientemente en el mercado, se visualiza en la *Figura 2.11*.



*Figura 2.12: Prototipo ESP32 C3 Mini.*

Bajo la información obtenida se decidió finalmente utilizar 2 ESP32

para funcionalidades independientes, ya que de igual forma cumplen con un tamaño adecuado y un rendimiento eficiente del cursor, la implementación del circuito se muestra en la *Figura 2.12*.



*Figura 2.13: Prototipo Final ESP32.*

Como parte del proceso de selección, se consideran los siguientes pulsadores tomados en cuenta el tamaño y la adaptabilidad con respecto a la mano del usuario:

Los interruptores de botón premium son impermeables y adecuados para ambientes húmedos o polvorientos, ideales para vehículos, sistemas de arranque y pequeños electrodomésticos. Es fácil de instalar, compatible con entornos domésticos y laborales e ideal para muchos sistemas eléctricos [20], se lo muestra en la *Figura 2.13*.



*Figura 2.14: Pulsador 4x4x0.8H.*

Los pulsadores presentados en la *Figura 2.14* y *Figura 2.16* son adecuados para una variedad de proyectos y se pueden almacenar fácilmente en un recipiente de plástico transparente. Perfecto para televisores, sistemas de sonido, computadoras, intercomunicadores, controles remotos y otros dispositivos [21].



*Figura 2.15: Pulsador 6x6x2.5 H.*

El botón PCB tipo B3F tiene llave redonda, tamaño 12x12x7,3 mm

como se ve en la *Figura 2.15*, tiene 4 contactos y un contacto SPST-NO normalmente abierto. Es un elemento importante de la electrónica útil en diversos proyectos. Al presionar, el contacto SPST-NO cerrará el circuito, perfecto para usar en PCB y placas de pruebas, admite una corriente nominal de 50 mA [22].



*Figura 2.16: Pulsador 12x12x7.3H.*



*Figura 2.17: Pulsador 2x4x3.5H.*

Si bien cada pulsador posee su funcionalidad específica, pero al realizar distintas pruebas de uso con el usuario se utilizará el pulsador 4x4x0.8H para las funcionalidades del MouseBle y con ello agregar dos pulsadores normales de tamaño middle 6x6x5H para una distribución óptima en la palma de la mano.

Se presenta como **Anexo 7** el video en el que se muestra la funcionalidad del prototipo.

- **Sprint 2**

- 1. Objetivo del sprint**

- Mejorar el diseño ergonómico y la facilidad de uso del dispositivo para que sea sencillo de usar continuamente durante largos períodos de tiempo y los botones estén en posiciones ergonómicas. Además, se logre obtener a un bajo costo el dispositivo final.

## 2. Planificación del sprint

El Equipo Scrum hizo una mejora al diseño para que sea fácil de usar bajo una buena distribución de botones, bajo largos plazos de tiempo, tomando en cuenta los costos asequibles del mismo. La planificación con las historias de usuario a desarrollo se visualiza a detalle en el **Anexo 4** de la Planificación Scrum.

## 3. Revisión del sprint

Durante el Sprint 2, se pudo completar exitosamente el diseño del dispositivo de entrada de bajo costo. Los resultados obtenidos por el sprint se visualizan a detalle en el **Anexo 4** de la Planificación Scrum.

## 4. Sprint retrospective

En la siguiente *Figura 2.18* muestra Ambas líneas descienden de manera consistente hacia cero, indicando que el equipo ha seguido de cerca el plan original. La convergencia de las líneas al final del sprint sugiere que todas las tareas previstas fueron completadas puntualmente, demostrando precisión en las estimaciones y eficacia en la ejecución del trabajo.

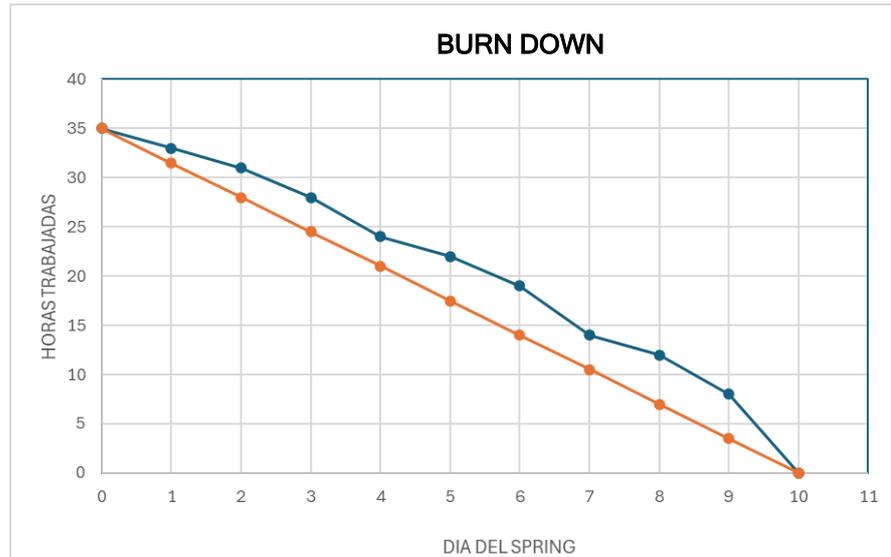


Figura 2.18: Burn down Sprint 2.

## 5. Resultados

Se investigaron posibles modelos a utilizar en relación con la sujeción y tamaño para el usuario, por lo que se generaron dos diseños iniciales para tratar de adaptarlo, se muestra en la *Figura 2.17* y *Figura 2.18*:



Figura 2.19: Idea generada por IA.



*Figura 2.20: Diseño de IA.*

Al obtener un primer acercamiento a la forma se procedió a modelar en plastilina la sujeción con la mano del usuario para poder conocer que distribución en los dedos podría tener el dispositivo, visualizado en la *Figura 2.19*:



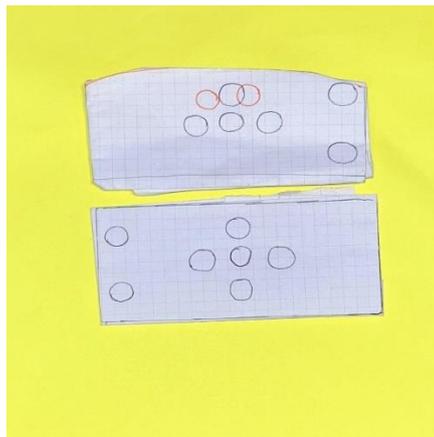
*Figura 2.21: Sujeción del usuario.*

Con ello se realizaron bocetos para darle una forma más cómoda de sujetar que se muestra en la *Figura 2.20*:



*Figura 2.22: Boceto inicial prototipo.*

Se busco mantener facilidad de movimiento por lo que se crearon dos bocetos con distintas distribuciones de teclas, se muestra en la *Figura 2.21*.



*Figura 2.23: Boceto distribución de teclas.*

Se hizo un modelo nuevamente acorde a la sujeción del usuario y su distribución de las teclas para una mejor movilidad, se muestra en la *Figura 2.22*.

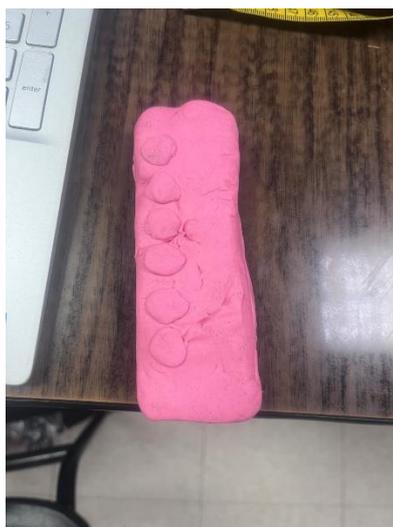


Figura 2.24: Modelado dispositivo de entrada 1.

Al observar que el dispositivo era muy largo, se decidió hacerlo más compacto por lo que tomo una forma cilíndrica hueca, se muestra en la Figura 2.23.



Figura 2.25: Modelo dispositivo cilíndrico.

A continuación, se muestra un cambio robusto porque se pensó en el tiempo que el dispositivo iba a utilizarse, en consecuencia, se observa una manilla tipo reloj y un guante acorde a la mano de quien la sostenga, se muestra en la Figura 2.24 y Figura 2.25.



*Figura 2.26: Modelo prototipo final.*



*Figura 2.27: Parte trasera del modelo prototipo final.*

Finalmente, se logra visualizar que al utilizar de este modo las cajas tipo manilla el usuario no cambiará de posición y se ajustara a su postura normal, evitando un esfuerzo adicional como lo es el sujetar, se muestra en la *Figura 2.26*.



*Figura 2.28: Manilla prototipo final.*

- **Sprint 3**

- 1. Objetivo del sprint**

Permitir la autonomía del dispositivo eligiendo la batería correcta y brindando una alerta de nivel de batería, así como también la posibilidad de entrenar a los usuarios.

- 2. Planificación del sprint**

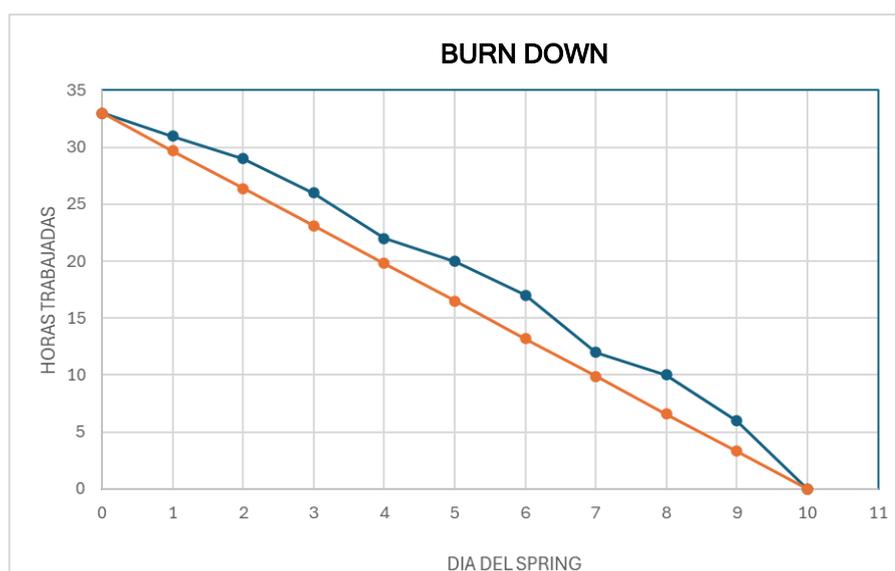
El Equipo Scrum logro optimizar la autonomía del dispositivo en cuanto a batería y su uso. La planificación con las historias de usuario a desarrollo se visualiza a detalle en el **Anexo 4** de la Planificación Scrum.

- 3. Revisión del sprint**

Durante el Sprint 3, se pudo completar exitosamente las funcionalidades del dispositivo de entrada. Los resultados obtenidos por el sprint se visualizan a detalle en el **Anexo 4** de la Planificación Scrum.

#### 4. Sprint retrospective

En la siguiente *Figura 2.29* muestra ambas líneas descienden de manera consistente hacia cero, indicando que el equipo ha seguido de cerca el plan original.



*Figura 2.29: Burn down Sprint 3.*

#### 5. Resultados

Se realizaron pruebas con respecto a la batería que se va a utilizar y cuánto tiempo tardará hasta su descarga para poder volverla a cargar, los elementos utilizados son una batería de 3.7 V y un módulo de carga que se integrará en la placa principal, como se visualiza en la *Figura 2.27*.



*Figura 2.30: Módulo de carga y batería recargable.*

Finalmente, la Figura muestra como fue el trabajo respecto a horas del proyecto, lo que muestra es la ausencia de fluctuaciones significativas sugiere que el equipo ha trabajado de manera consistente, sin interrupciones mayores ni ajustes drásticos en el plan. En resumen, la gráfica refleja una gestión eficiente del tiempo y recursos, logrando completar todas las tareas previstas dentro del plazo establecido.

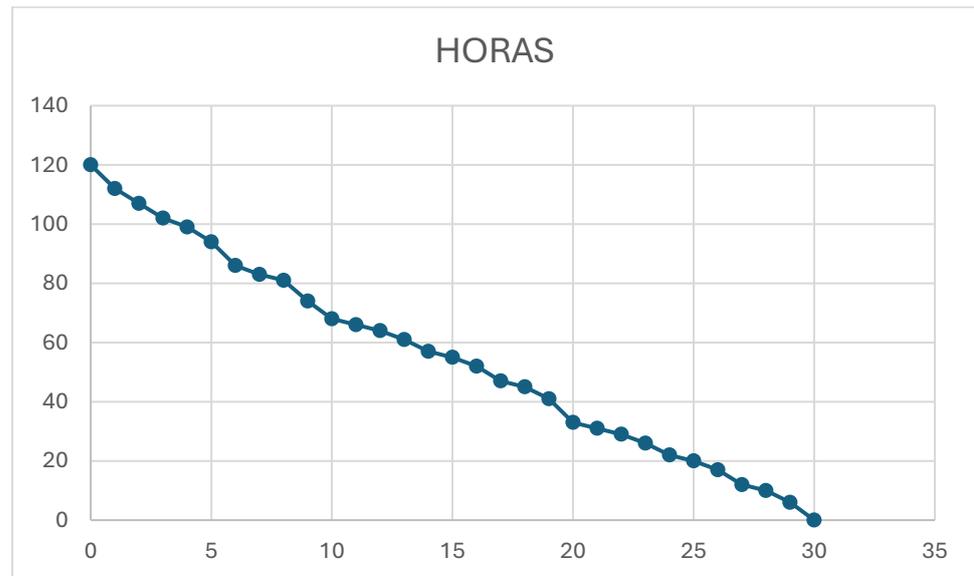


Figura 2.31: Proyecto.

## 2.5. Metodología Prototipado

La metodología se basa en principios de programación pragmática, manifiestos para métodos de desarrollo de software ágiles e iterativos, estrategias ascendentes utilizadas en el desarrollo de hardware y varias prácticas del método Out-In [17].

### 2.5.1. Fase de construcción

- **Análisis de alternativas**

Se analizaron las diferentes alternativas respecto a la velocidad del cursor en el computador, para hallar la mejor opción de construcción para el prototipo y generando la solución al problema de estudio. El conjunto de alternativas que logren formar parte del prototipo final debe cumplir las necesidades y características plateadas en la *Tabla 2.16*:

Tabla 2.16: Necesidades y características técnicas.

<b>Necesidad</b>	<b>Características técnicas</b>
<b>Tamaño</b>	El prototipo presentará dimensiones promedio a la del usuario final.
<b>Bajo costo</b>	Los materiales para su construcción deben ser baratos y accesibles en el mercado ecuatoriano.
<b>Ligero</b>	El prototipo deberá tener un peso sutil acorde al usuario final.
<b>Sujeción</b>	El prototipo podrá ser sujeto y que se encuentre firmemente para los diferentes tipos de manos.
<b>Precisión</b>	El prototipo podrá mover el cursor sin dificultad en la pantalla.
<b>Botones funcionales</b>	Los clics izquierdo, derecho, Scroll, los botones SHIFT y ALT+GR deben distribuirse en la palma del usuario.

- **Sistema de calificación para alternativas de microcontroladores**

En la siguiente *Tabla 2.17* se mostrarán los criterios y distintos indicadores de equivalencia que serán empleados para determinar el mejor modelo a implementarse. Los microcontroladores es un circuito integrado programable, capaz de ejecutar las órdenes grabadas en su memoria, por ello es el encargado de enviar la orden para el movimiento, clics y botones de teclado como SHIFT y ALT+GR.

Tabla 2.17: Sistema de calificación microcontroladores.

<b>Criterios</b>	<b>Equivalencia de Indicadores</b>		
	<b>1-3</b>	<b>4-7</b>	<b>7-10</b>
<b>Costo</b>	Muy costoso	Medianamente costoso	Muy barato

<b>Facilidad de Implementación</b>	Muy difícil	Medianamente fácil de controlar	Fácil
<b>Accesibilidad de compra</b>	Disponible	Medianamente disponible	No disponible
<b>Peso</b>	Muy pesado	Medianamente pesado	Muy liviano
<b>Fuerza</b>	Muy fuerte	Medianamente fuerte	Muy débil
<b>Tamaño</b>	Muy grande	Medianamente grande	Pequeño
<b>Precisión</b>	Muy preciso	Medianamente preciso	Poco preciso

- **Sistema de Calificación para Alternativa de Manufactura**

En la siguiente *Tabla 2.18* se muestran los criterios y los distintos indicadores de equivalencia que serán empleados para determinar el mejor proceso de manufactura del prototipo.

*Tabla 2.18: Sistema de calificación para alternativas de manufactura.*

<b>Criterios</b>	<b>Equivalencia de Indicadores</b>		
	1-3	4-7	7-10
<b>Costo</b>	Muy costoso	Medianamente costoso	Muy barato
<b>Densidad</b>	Muy denso	Medianamente denso	Poco denso
<b>Resistencia</b>	Alta resistencia	Medianamente resistente	Poca resistencia
<b>Calidad</b>	Buena calidad	Medianamente de calidad	Mala calidad
<b>Resolución</b>	Buena resolución	Medianamente buena	Mala resolución
<b>Diseños complejos</b>	Buena para impresión de	Medianamente buena para	Mala impresión para los

	diseños complejos	impresión de diseños complejos	diseños complejos
<b>Acabado Superficial</b>	Buen acabado superficial	Acabado superficial medianamente bueno	Mal acabado superficial

- **Sistema de calificación para módulo de acelerómetro y giroscopio**

En la siguiente *Tabla 2.19* se muestran los criterios y los distintos indicadores de equivalencia que serán empleados para determinar el mejor módulo de acelerómetro y giroscopio para el prototipo.

*Tabla 2.19: Sistema de calificación para módulo de acelerómetro y giroscopio.*

Criterios	Equivalencia de Indicadores		
	1-3	4-7	7-10
<b>Costo</b>	Muy costoso	Medianamente costoso	Muy barato
<b>Facilidad de Implementación</b>	Muy difícil	Medianamente fácil de controlar	Fácil
<b>Accesibilidad de compra</b>	Disponible	Medianamente disponible	No disponible
<b>Consumo de energía</b>	Muy alto	Medianamente alto	Bajo
<b>Precisión</b>	Muy preciso	Medianamente preciso	No preciso
<b>Compatibilidad</b>	Alta	Media	Baja
<b>Documentación y soporte</b>	Abundante	Medianamente abundante	Mínima

- **Análisis de Alternativas de Microcontroladores.**

Los microcontroladores son uno de los elementos más importantes en la integración de un circuito para que pueda generar los movimientos del cursor y se puedan utilizar los botones de clic izquierdo, derecho, Scroll y teclas SHIFT y ALT+GR de la *Tabla 2.20*.

*Tabla 2.20: Análisis de alternativa microcontroladores.*

N.º	Criterios	Arduino Nano Esp32	ESP32	Arduino Leonardo
1	Tamaño	10	8	1
2	Bajo costo	1	8	7
3	Peso	1	1	1
4	Precisión	7	3	3
5	Botones funcionales	7	1	2
6	Integración	7	1	1
<b>Sumatoria</b>		33	22	15
<b>Índice Porcentual</b>		0,55	0,36	0,25
<b>Orden de selección</b>		55 %	36,66%	25%

En este caso el porcentaje del 36,66 % con la “ESP32”, nos indica que es la mejor opción porque en comparación a rendimiento de movilidad del cursor la opción del Arduino Nano ESP32 es baja y este sería uno de los principales ítems a tomar en cuenta para la integración del circuito interno del prototipo. No obstante, tenemos dos opciones adicionales, la “ESP32” y “Arduino Leonardo”. Ambos poseen características similares, pero se da un gran desfase en el tamaño y diseño del Arduino Leonardo porque se centra en la compatibilidad y la facilidad de uso para proyectos educativos y de creación de prototipos, mientras que el ESP32 está optimizado para aplicaciones donde el espacio es limitado y se necesita una alta funcionalidad. Si bien las 3 opciones son válidas, pero manteniéndonos al costo mínimo que debe tener el dispositivo y la funcionalidad que este debe integrar dejaría como la mejor opción al microcontrolador “ESP32”.

- **Análisis de Alternativas de módulo para movimiento**

Para la selección del módulo de movimiento se tomaron en cuenta las métricas que se detallan en la *Tabla 2.21*:

*Tabla 2.21: Análisis de alternativa módulo.*

<b>N.º</b>	<b>Criterios</b>	<b>MPU9250</b>	<b>MPU6050</b>
<b>1</b>	<b>Costo</b>	9	9
<b>2</b>	<b>Facilidad de Implementación</b>	5	8
<b>3</b>	<b>Accesibilidad de compra</b>	7	1
<b>4</b>	<b>Consumo de energía</b>	6	8
<b>5</b>	<b>Precisión</b>	1	1
<b>6</b>	<b>Compatibilidad</b>	1	1
<b>7</b>	<b>Documentación y soporte</b>	8	3
<b>Sumatoria</b>		37	31
<b>Índice Porcentual</b>		0,52	0,44
<b>Orden de selección</b>		<b>52,85%</b>	<b>44,28%</b>

En este caso, la calificación del 44,28% para "MPU6050" muestra que es la mejor opción para un mouse Bluetooth BLE debido a su facilidad de implementación y consumo de energía en comparación con el MPU9250. A pesar de que el MPU9250 tiene una puntuación general más alta, mejor documentación y soporte, estos aspectos no superan la importancia de la eficiencia energética y la fácil integración para que un dispositivo móvil se mueva como un mouse. Fácil de implementar, el MPU6050 permite un desarrollo más rápido y rentable, mientras que el bajo consumo de energía extiende la vida útil de la batería, lo cual es importante para la satisfacción del usuario. Entonces, al prestar atención a estos criterios clave, el MPU6050 se convierte en la opción óptima para integrar Bluetooth BLE en el diseño de su mouse.

- **Conclusión de alternativa de diseño**

Mpu6050 es el diseño perfecto del MouseBle, posee mayor rapidez, bajo costo y baja potencia para el consumo de energía que es esencial para la satisfacción del usuario. La Esp32 es una gran opción para aplicaciones que requieren mucho espacio y rendimiento. Siendo estas alternativas las cuales satisfacen las características son necesidades técnicas que se muestra en la *Tabla 2.16*.

## 2.5.2. Fase de integración

- **Justificación de las medidas del prototipo**

El prototipo fue construido en una escala de 1,5, que es representativo del tamaño antropométrico medio de la mano humana. El peso del dispositivo tuvo influencia principalmente por el tamaño de los componentes electrónicos ESP32 y MPU6050 módulos, la ergonomía y funcionalidad del dispositivo. El prototipo se ha ampliado para proporcionar un agarre ajustado y aerodinámico, al tiempo que se asegura la integración eficiente de todos los componentes necesarios.

El prototipo frontal y posterior están diseñados para ser en el tamaño de una mano estándar y se han aumentado en 1,5 veces para hacer el prototipo más fácil de usar y funcional. El tamaño de la mano del usuario final se tiene en cuenta, como a continuación:

- **Mano izquierda frontal:** 16 cm de largo y 10 cm de ancho.
- **Mano izquierda trasera:** 14 cm de largo y 9 cm de ancho.
- **Mano derecha frontal:** 16 cm de largo y 10 cm de ancho.
- **Mano derecha trasera:** 11 cm de largo y 6 cm de ancho.

El prototipo, con 28cm de largo y se extiende ligeramente más allá del tamaño de la mano del usuario, proporcionando un mejor control y comodidad durante largos períodos de uso. Además, se disminuyó el ancho de la base de 2.5 cm a 2 cm para mejorar la precisión y el control del dispositivo.

Los botones para el clic derecho e izquierdo y Scroll, las teclas SHIFT y ALT+GR se posicionaron de manera estratégica para dar una mejor precisión y control del dispositivo.

- **Botón izquierdo:** 1.5 cm abajo y 0.5 cm desde el borde izquierdo hacia el centro.
- **Botón derecho:** 3 cm abajo desde la parte superior.

- **Scroll:** 0.5cm entre el clic derecho e izquierdo.
- **SHIFT:** 0.5cm debajo del clic izquierdo.
- **ALT+GR:** 0.5cm a lado del clic derecho.

La aplicación de estas medidas no sólo garantiza la integración adecuada de elementos mecánicos y electrónicos, sino que también garantiza la ergonomía y funcionalidad necesarias para un uso eficiente y cómodo del MouseBle.

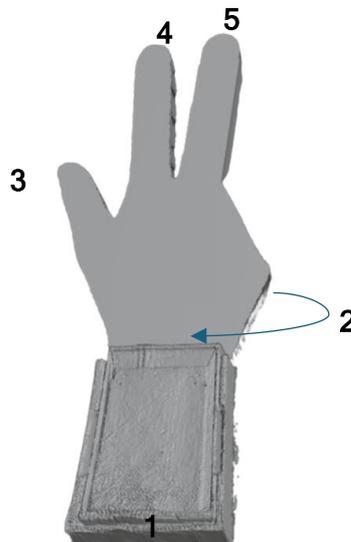
- **Diseño del prototipo**

Se diseña el prototipo del MouseBle, tomando en cuenta las medidas del usuario final, se realizó en el software de Blender un bosquejo de cómo se vería el producto final, se dará una descripción breve de los componentes en la *Tabla 2.22* para que apoyen la posición y ajuste para la elaboración de la herramienta:

*Tabla 2.22: Descripción de componentes del prototipo de mano.*

Número	Parte	Descripción
1	Antebrazo	Espacio en el cual se instala la parte electrónica respecto al movimiento y teclas especiales.
2	Palma	La base en la que se unirán los componentes electrónicos.
3,4,5,	Falanges	Partes de la mano que nos permitirá la presión con los botones integrados.

En la *Figura 2.28* se muestra la vista previa del diseño del prototipo del Mouse BLE.



*Figura 2.32: Modelamiento Blender carcasa.*

- **Ensamblaje del Prototipo de Mouse BLE**

Una vez analizadas las partes que integraran el prototipo se obtienen las dimensiones finales de la carcasa que contendrá el circuito integrado, detallado en la *Tabla 2.23*.

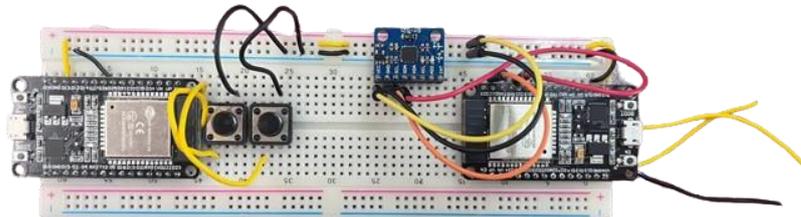
*Tabla 2.23: Medidas finales del prototipo.*

Descripción	Medida (c m)
Largo	7
Ancho	3

- **Construcción del prototipo**

Al conocer los elementos que irán integrados en el circuito MouseBle se incorporan en una protoboard y a su vez este prototipo sería funcional. Los elementos son:

- ESP32
- Pulsadores
- Cable timbre
- Jumpers macho-macho



*Figura 2.33: Circuito Prototipo Mouse y Keyboard.*

La Figura 2.29 contiene el circuito, en el IDE de Arduino se integrara el código que se adjuntara en el **Anexo 5** , para ello es importante destacar que se utilizaron funciones propias de la librería ESP32\_BLE\_Mouse y ESP32\_BLE\_Keyboard.

Código fuente

La ESP32 con el módulo MPU6050 simulara un MouseBle, Se tomará la orientación y el movimiento detectado por el sensor para que el puntero pueda moverse en un ordenador conectado a través de Bluetooth. Además, posee la funcionalidad de clic izquierdo, derecho y Scroll.

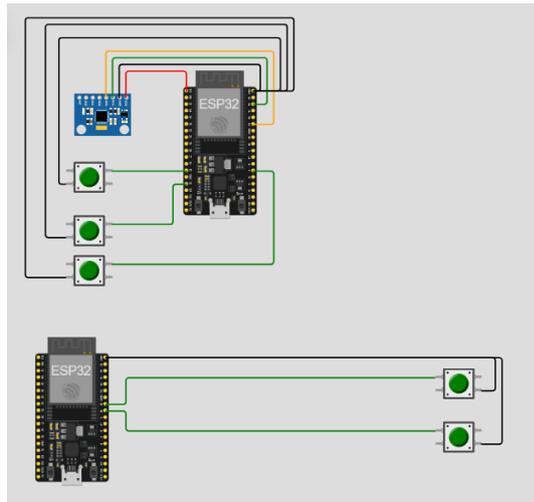
Las librerías que se utilizaron son:

- **BleMouse.h**: Brinda funciones para simular un mouse Bluetooth.
- **I2Cdev.h**: Facilita la comunicación I2C, que es utilizada para interactuar con el sensor MPU6050 [23].
- **MPU6050**: Posee métodos específicos para el sensor MPU6050, que tiene

acelerómetro y giroscopio [24].

- **Wire.h:** Librería estándar de Arduino para la comunicación I2C [25].
- **Kalman.h:** Implementa el filtro de Kalman, utilizado para suavizar y filtrar las lecturas del giroscopio [26].

- **Integración del prototipo**



*Figura 2.34: Esquemático del prototipo funcional.*

Utilizando la herramienta “WOKWI”, se logró plasmar los circuitos que se tenían de manera física en una protoboard. Al tener la siguiente herramienta se logró incluir y conectar los elementos electrónicos para proceder a la construcción de la placa física de la *Figura 2.30*.

- **Placa de Control**

Al tener el circuito esquemático lo que se pretende es poder modelarlo en una herramienta que permita diseñar y conectar los componentes que se utilizaran de una forma estructurada y eficiente, presentados en la *Figura 2.31*.

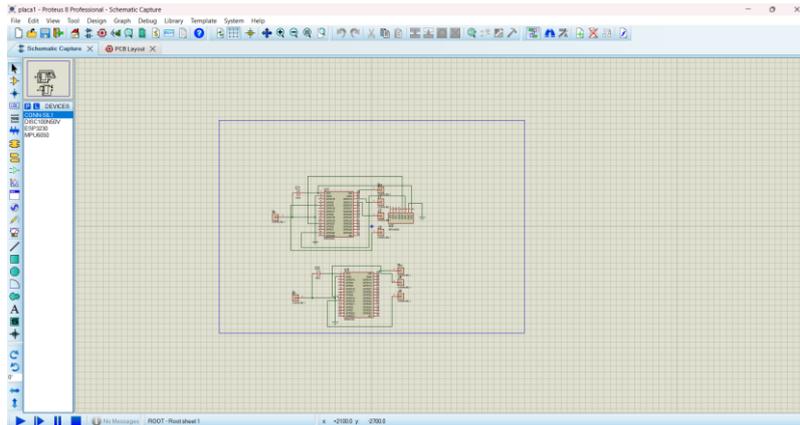


Figura 2.35: Modelamiento en Proteus.

Los componentes que se encuentran representados en el modelo de la *Figura 2.32* son:

- **Microcontrolador ESP32 (U1 y U3):**
  - **U1:** ESP32 que tendrá la funcionalidad de MouseBle, con varias GPIOs (pines de entrada/salida) conectadas. Tiene conexiones para alimentación (3V3, GND), y pines de entrada/salida (GPIO0, GPIO1, etc.). Está asociado con el conector de alimentación (B+ y B-), condensador (C1), y el conector (J2).
  - **U3:** La ESP32 que tendrá la funcionalidad de Keyboard con conexiones similares a las de U1, también tiene un condensador asociado (C2), y conectores de alimentación (B+ y B-).
- **Sensor MPU6050 (U2):** Un sensor de movimiento (acelerómetro y giroscopio) conectado al ESP32 (U1). Posee sus pines etiquetados como VCC, GND, SCL, SDA, XDA, XCL, AD0.
- **Conectores:**
  - J1, J3, J4, J5: Conectores etiquetados como CONN-SIL1. Estos conectores permiten la interconexión con otros componentes o dispositivos.
  - B+ y B-: Conectores de alimentación que suministran voltaje al circuito.
- **Condensadores (C1 y C2):**
  - Condensadores de 100nF con el fin de que filtre el ruido en la alimentación de los ESP32.

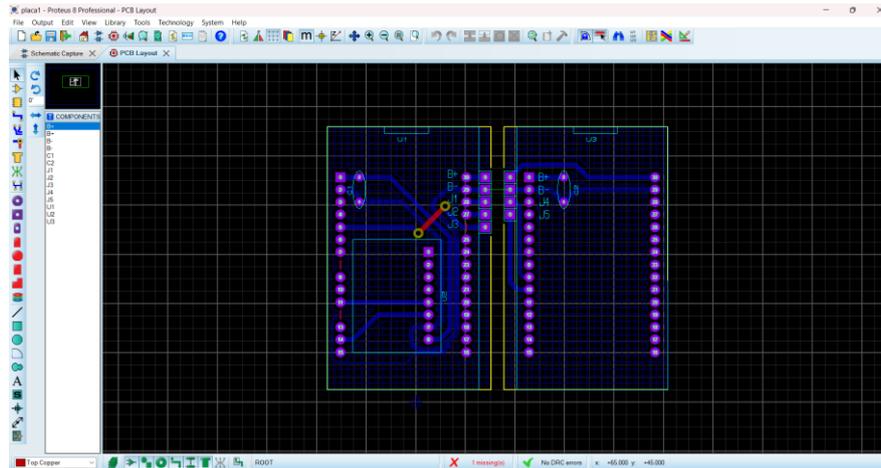


Figura 2.36: PCB Layout.

Ahora bien, como parte del proceso de creación se modela el diseño para la impresión en la placa, por lo que las partes fundamentales son:

- **Alimentación:** Ambas ESP32 (U1 y U3) están conectadas a los puntos de alimentación B+ (positivo) y B- (negativo). Cada uno tiene un condensador (C1 para U1 y C2 para U3) conectado en paralelo con la fuente de alimentación.
  - **Conexiones de Datos:** El sensor MPU6050 (U2) está conectado al ESP32 (U1) a través de los pines I2C (SCL y SDA), y tiene conexiones adicionales para VCC y GND.
  - **Conectores J2 y J3:** Estos son conectores destinados a cumplir las funcionales como clic izquierdo, derecho, Scroll.
  - **Conectores J4 y J5:** Similarmente, están destinados a la interconexión con el ESP32 (U3).
- **Impresión de la placa**

La siguiente placa posee el material de sustrato como base llamado FR4 el cual es un material de laminado de fibra de vidrio multicapa que proporciona una excelente estabilidad mecánica y eléctrica. Es resistente al fuego, tiene una alta relación resistencia-peso y es resistente a la humedad y los cambios de temperatura. FR4 se usa ampliamente debido a su bajo costo y versatilidad, lo que lo hace ideal para muchas aplicaciones electrónicas, aunque no es adecuado para diseños de alta frecuencia debido a una mayor pérdida de señal y otros problemas para estabilizar la impedancia en comparación con los paneles de alta frecuencia [27].

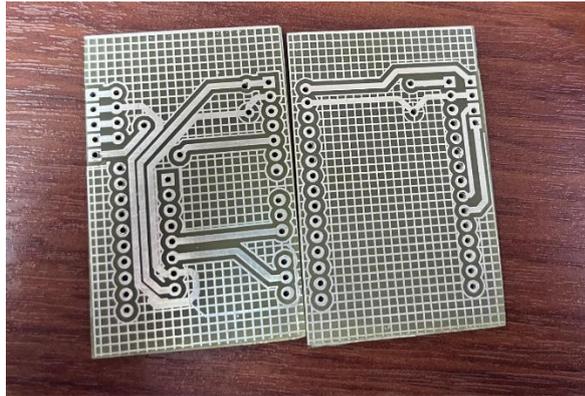


Figura 2.37: PCB Impresa.

El diseño de la *Figura 2.33* se encuentra en el **Anexo 6**.

- **Creación en Blender**

Lo que se mostrara en la *Figura 2.34*, *Figura 2.35*, *Figura 2.36* son las vistas del modelado en 3D, los cambios integrados fueron en base al acoplamiento de la muñeca del usuario y la distribución con la placa interna.

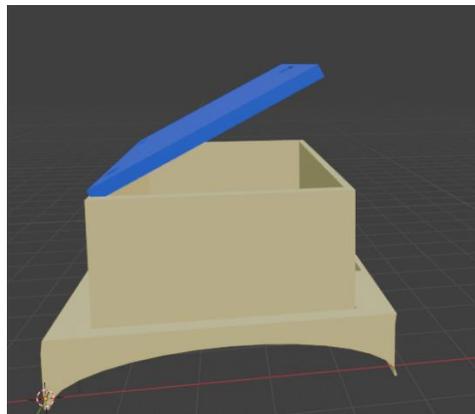


Figura 2.38: Parte superior de caja Ble.

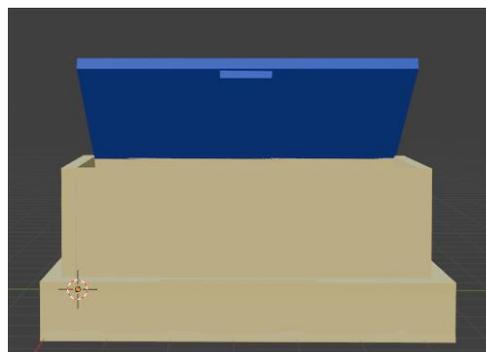


Figura 2.39: Parte frontal de caja Ble.

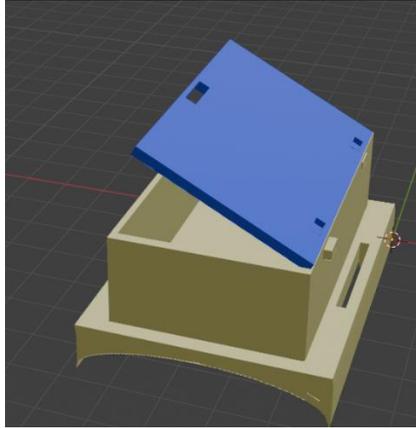


Figura 2.40: Parte superior derecha de caja Ble.

- **Impresión en 3D**

En base a dispositivos comunes como las palancas de videojuegos o la forma de un control de televisor convencional se realizaron varios cambios en el modelo para llegar a un ajuste final acorde a las necesidades del usuario. Como se puede visualizar se creó una manilla para que se adapten al tamaño de la muñeca, se muestra en la *Figura 2.34*.



Figura 2.41: Impresión del contenedor de las placas.

Lo que se pretende en este diseño es que sea cómodo y funcional para el usuario, logrando que la placa del dispositivo pueda ingresar y se pueda sujetar con la otra mediante velcro, se muestra en la *Figura 2.35*.



*Figura 2.42: Carcasa final de la manilla.*

## **2.6. Resumen del capítulo**

El proyecto "MouseBle" se desarrolló combinando metodologías iPlus, Scrum y prototipado, asegurando un enfoque centrado en el usuario, con iteraciones ágiles y pruebas rigurosas. La metodología iPlus, desarrollada por la PhD Mayra Carrión, se utilizó para identificar participantes y definir objetivos pedagógicos mediante entrevistas y diagramas de afinidad. En la fase de implementación, se aplicó Scrum, donde se definieron roles y sprints específicos para desarrollar funcionalidades como el ajuste de sensibilidad y la integración de teclas específicas, permitiendo un desarrollo incremental y colaborativo. La metodología de prototipado facilitó la construcción de un dispositivo ergonómico y funcional, considerando criterios como tamaño, costo y precisión. A través de la selección de componentes adecuados como el microcontrolador ESP32 y el módulo MPU6050, se aseguró la eficiencia del prototipo. El proceso culminó con la integración y ensamblaje del prototipo, modelado en software y fabricado con impresión 3D, resultando en un dispositivo que mejora la accesibilidad y autonomía de personas con discapacidades motoras, demostrando la eficacia de un enfoque metodológico integral y adaptativo.

# Capítulo 3

## 3 RESULTADOS Y EVALUACIONES

### 3.1 Fase de pruebas

Una vez creado el prototipo funcional del proyecto se pretende evaluar mediante una herramienta de usabilidad conocida como SUS ( System Usability Scale) que procura recopilar información acerca del nivel de satisfacción, usabilidad y las necesidades de apoyo técnico relacionadas con el proyecto [28]. Posee una base de 10 preguntas de investigación prediseñadas y accesibles fácil de usar, las preguntas utilizadas en la *Figura 2.36* son:

	Strongly disagree				Strongly agree
1. I think that I would like to use this system frequently	<input type="checkbox"/>				
	1	2	3	4	5
2. I found the system unnecessarily complex	<input type="checkbox"/>				
	1	2	3	4	5
3. I thought the system was easy to use	<input type="checkbox"/>				
	1	2	3	4	5
4. I think that I would need the support of a technical person to be able to use this system	<input type="checkbox"/>				
	1	2	3	4	5
5. I found the various functions in this system were well integrated	<input type="checkbox"/>				
	1	2	3	4	5
6. I thought there was too much inconsistency in this system	<input type="checkbox"/>				
	1	2	3	4	5
7. I would imagine that most people would learn to use this system very quickly	<input type="checkbox"/>				
	1	2	3	4	5
8. I found the system very cumbersome to use	<input type="checkbox"/>				
	1	2	3	4	5
9. I felt very confident using the system	<input type="checkbox"/>				
	1	2	3	4	5
10. I needed to learn a lot of things before I could get going with this system	<input type="checkbox"/>				
	1	2	3	4	5

Figura 3.1.1: Preguntas predefinidas SUS.

Estas preguntas se tendrán en cuenta utilizando la escala de Likert [28], en la que las opciones de respuesta incluyen las posibilidades de la *Tabla 2.24*:

Tabla 3.1.1: Puntuación según escala de Likert.

Opción	Valor
Totalmente en desacuerdo	1
En desacuerdo	2
Neutral	3
De acuerdo	4
Totalmente de acuerdo	5

El uso de este tipo de escalas se considera esencial ya que facilita, en primer lugar, a los usuarios responder a las preguntas al ofrecer mayor capacidad de expresión que, por ejemplo, una pregunta de opción múltiple, y en segundo lugar, a los entrevistadores realizar aproximaciones y poder analizar los resultados mediante métodos estadísticos.

Por lo tanto, las respuestas obtenidas en cada pregunta tienen un valor de 1 a 5, donde una respuesta "totalmente en desacuerdo" tendría un valor de 1 antes de su posterior procesamiento, y una respuesta "totalmente de acuerdo" tendría un valor de 5 antes de aplicar los criterios. La medición de los resultados de esta escala funciona de la siguiente manera:

- Las respuestas a las preguntas impares (1, 3, 5, 7, 9) son consideradas positivas y se calculan como  $(\text{Puntuación} - 1) * 2.5$ .
- Las respuestas pares (2, 4, 6, 8, 10) son consideradas negativas para el sistema, por lo que se calculan como  $(5 - \text{Puntuación}) * 2.5$ .
- La suma de todas las respuestas por cada cuestionario es el resultado y la puntuación obtenida por el sistema por parte del usuario que realiza la prueba.

Para que el estudio aporte resultados concluyentes, primero habrá que decidir una escala de valores en la que la puntuación obtenida de manera conjunta por el grupo de usuarios entrevistados refleje un valor óptimo con respecto a la usabilidad del sistema o interfaz que se desea evaluar. La escala elegida se expresa en la *Tabla 2.24*:

Tabla 3.1.2: SUS escala.

Calificación	Usabilidad
Total < 50 Usabilidad no suficiente	Total < 50 Usabilidad no suficiente
Total 50-70 Usabilidad neutra	Total 50-70 Usabilidad neutra
Total > 70 Usabilidad confiable	Total > 70 Usabilidad confiable

## 3.2 Aplicación del SUS

En base a las 10 preguntas del SUS lo que se hizo es adaptarlas al objetivo principal del proyecto, presentando las siguientes opciones:

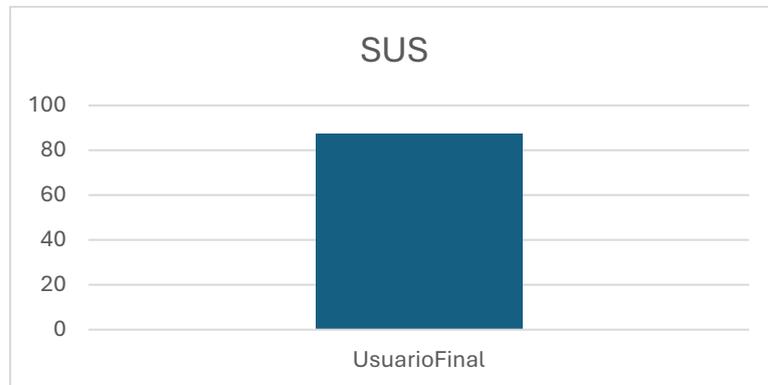
1. El tamaño del MouseBle es adecuado para su uso.
2. Considera que el dispositivo de entrada " MouseBle " es barato y accesible para el mercado ecuatoriano.
3. Considera que el MouseBle tiene un peso ligero adecuado.
4. El MouseBle puede sujetarse firmemente en su mano.
5. Mover el cursor con el MouseBle es fácil.
6. La distribución de los botones del MouseBle es adecuada.
7. Cree que la funcionalidad del MouseBle es consistente y no presenta inconsistencias.
8. Considera que la mayoría de las personas aprenderían a usar el MouseBle muy rápidamente.
9. Considera que el MouseBle es cómodo y no es complicado de usar.
10. Se sintió muy seguro/a usando el MouseBle.

De este modo se mantiene el enfoque de usabilidad con el estilo de preguntas SUS.

- **Análisis de datos**

En primera instancia se tomó en cuenta la encuesta realizada al usuario final que se encuentra como **Anexo 13**, lo que a su vez se representó en la *Figura 3.2.1* que representa una combinación de opiniones favorables y desfavorables sobre el dispositivo. La puntuación total del Sistema de Usabilidad (SUS) es 87.5, lo que indica una usabilidad muy alta, no obstante, algunas áreas críticas requieren atención. Por ejemplo, el Mouseble es percibido como excesivamente caro para el mercado ecuatoriano, lo que podría restringir su accesibilidad. Además, existen inquietudes sobre la sujeción y la distribución de los botones, lo cual impacta la ergonomía y la facilidad de uso. A pesar de estas preocupaciones, los participantes valoran positivamente el tamaño, peso y funcionalidad consistente del dispositivo, lo que sugiere que, con ajustes en el precio y diseño, el Mouseble tiene un potencial considerable en el mercado. La facilidad para mover el cursor y la comodidad general del dispositivo son puntos fuertes que pueden ser destacados en futuras

promociones. Por lo tanto, aunque el Mouseble enfrenta ciertos desafíos, su alta puntuación SUS sugiere que tiene una base sólida para el éxito con mejoras específicas.



*Figura 3.2.1: Porcentaje SUS usuario final.*

Una vez presentados los datos del usuario final se recolectaron datos a diferentes usuarios, lo que dio paso al procesamiento de la información. Para facilitar su representación se generó, por pregunta, un gráfico de frecuencia con detalle en el **Anexo 7**. Además, se efectuaron las operaciones especificadas por el SUS para calcular la puntuación de los usuarios, a continuación se presenta la evidencia en la *Figura 3.2.2* :



*Figura 3.2.2: SUS evidencia.*

Esta operación corresponde a una conversión sobre 100 donde las preguntas de aspectos positivos incrementan puntos mientras que las negativas disminuyen la puntuación, se debe considerar que las preguntas negativas son las pares. Los datos obtenidos son:

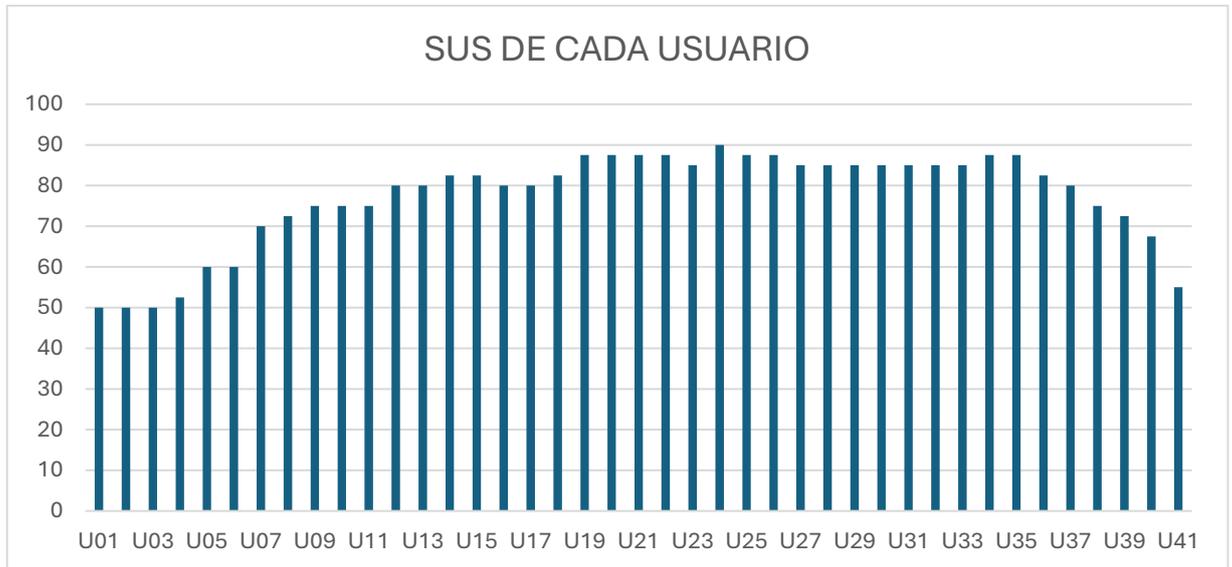


Figura 3.2.3: Score por Usuario.

El análisis del Sistema de Evaluación de Usabilidad (SUS) para el MouseBle con mayor detalle se encuentra en el **Anexo 11**, ahora bien, en la presente *Tabla 3.2.2* presenta una calificación promedio del SUS por usuario del 77.32%, lo que señala una usabilidad aceptable, aunque con áreas significativas para mejorar. Al ser un prototipo se podrían dar mejoras posteriores en base a:

- Tamaño del MouseBle.
- Distribución de los botones.
- Costo en el mercado.

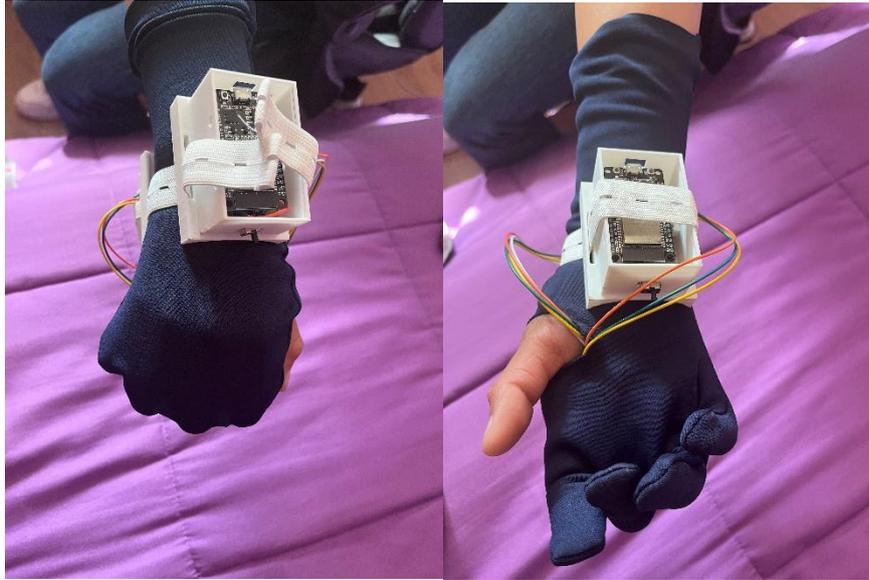
Si bien la calificación por usuario varía, lo que indica que mientras algunos encuentran el MouseBle satisfactorio, otros enfrentan dificultades que afectan su usabilidad. En resumen, aunque el MouseBle tiene un buen potencial, es crucial abordar las críticas sobre el costo ya que al no existir un mercado amplio respecto a dispositivos adaptativos a este se lo sigue considerando de alto costo, la ergonomía y la seguridad dependería del usuario que lo necesite para aumentar su aceptación en el mercado, para mayor detalle se encuentra dentro del **Anexo 11**.

### 3.3 Resultados

Se presenta la *Tabla 3.1* en la que se muestran las métricas bajo las que se evaluaron al dispositivo final, es por ello que en este punto presentaremos videos de como fue el rendimiento del prototipo en el entorno real, para más detalle en cuanto a un breve resumen del prototipo y como finalmente quedo el dispositivo se puede revisar el **Anexo 12** y la *Figura 3.2.4*.

*Tabla 3.2.1: Resultados acorde a métricas.*

<b>Funcionalidad</b>	<b>Resultado Esperado</b>	<b>Anexo</b>	
<b>Scroll Mouse</b>	El cursor se mueve suavemente en la pantalla de acuerdo con el movimiento detectado por el sensor MPU6050.	<b>Anexo 8</b>	✓
<b>Clic Derecho del Mouse</b>	El botón derecho del mouse funciona correctamente, abriendo las herramientas del ordenador.	<b>Anexo 9</b>	✓
<b>Clic Izquierdo del Mouse</b>	El botón izquierdo del mouse funciona correctamente, permitiendo seleccionar y arrastrar elementos.	<b>Anexo 10</b>	✓
<b>Tecla SHIFT</b>	Al presionar el botón designado, se envía el comando de la tecla SHIFT, permitiendo combinaciones como SHIFT + Clic	<b>Anexo 14</b>	✓
<b>Tecla AltGr</b>	Al presionar el botón designado, se envía el comando de la tecla AltGr, permitiendo acceder a caracteres adicionales en teclados que soportan esta tecla.	<b>Anexo 14</b>	✓



*Figura 3.2.4: Parte anterior y posterior del brazo con dispositivo.*

### 3.4 Análisis de resultados

El análisis del uso de la herramienta de usabilidad SUS (System Usability Scale) para evaluar el prototipo del MouseBle proporciona información valiosa sobre su aceptación y funcionalidad. Con una calificación promedio de 77.31%, el dispositivo se considera confiable en términos de usabilidad. Sin embargo, esta puntuación también revela áreas críticas que requieren mejoras, específicamente en el tamaño del dispositivo, la distribución de los botones y el costo en el mercado ecuatoriano. La variabilidad en las respuestas de los usuarios sugiere que mientras algunos encuentran el MouseBle satisfactorio, otros enfrentan desafíos que afectan su experiencia de uso. Estos desafíos incluyen aspectos de ergonomía y accesibilidad financiera, especialmente dado el nicho del mercado para dispositivos adaptativos. En términos de funcionalidad, el MouseBle cumple con las expectativas básicas, como el desplazamiento del cursor y el funcionamiento de los botones del mouse, según lo evidenciado en los anexos presentados. No obstante, para aumentar su aceptación y éxito comercial, es crucial abordar y mejorar los aspectos mencionados, asegurando que el dispositivo sea accesible, cómodo y económicamente viable para una mayor cantidad de usuarios. Para mayor detalle revisar el **Anexo 12**.

### 3.5 Resumen del capítulo

Este capítulo presenta la evaluación de la funcionalidad y usabilidad del MouseBle utilizando la herramienta SUS. Se destacan aspectos como la facilidad de uso y la satisfacción de los usuarios, identificando áreas que requieren mejoras, especialmente en diseño y costo.

# 4 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

## 4.1 Conclusiones

La implementación de la metodología ¡Plus! para el levantamiento de necesidades ha permitido identificar de manera precisa los requisitos específicos de los usuarios con discapacidades motoras. A través de entrevistas y encuestas, se han comprendido mejor sus necesidades en términos de interacción con dispositivos electrónicos, lo cual es fundamental para diseñar soluciones que verdaderamente mejoren su calidad de vida. Este enfoque centrado en el usuario asegura que los desarrollos tecnológicos estén alineados con las expectativas y necesidades reales de los usuarios finales.

El uso de la metodología de prototipado ha sido crucial en el diseño y desarrollo de una versión inicial del dispositivo adaptativo. Esta fase permitió iterar rápidamente sobre diferentes diseños, incorporando las preferencias y comentarios de los usuarios obtenidos durante el análisis de necesidades. Al involucrar a los usuarios desde el principio, se garantiza que el dispositivo no solo sea funcional, sino también aceptado y preferido por los mismos. Este enfoque iterativo y colaborativo resulta en un producto que es tanto práctico como accesible.

Las pruebas prácticas realizadas en entornos del mundo real han sido esenciales para evaluar la usabilidad, comodidad y eficacia del dispositivo adaptativo. Involucrar a los usuarios en estas pruebas ha proporcionado valiosa retroalimentación sobre el rendimiento del dispositivo en condiciones cotidianas. Los resultados de estas pruebas han permitido realizar ajustes y mejoras necesarias para asegurar que el dispositivo cumpla con los altos estándares de funcionalidad y confort requeridos por los usuarios.

La implementación de características de personalización en el diseño del dispositivo ha demostrado ser una estrategia efectiva para asegurar que el dispositivo sea adaptable a las necesidades individuales de los usuarios con artrogriposis múltiple congénita. La capacidad de ajustar el dispositivo según las especificaciones individuales no solo aumenta la satisfacción del usuario, sino que también mejora significativamente su independencia y calidad de vida. Este enfoque personalizado es crucial para el éxito a largo plazo del dispositivo.

La evaluación final de la usabilidad del dispositivo adaptativo ha confirmado que los métodos de diseño y desarrollo utilizados han producido un dispositivo que es eficiente y fácil de usar. Las evaluaciones detalladas han mostrado que el dispositivo cumple con los

criterios de usabilidad, lo cual es un testimonio del riguroso proceso de diseño centrado en el usuario. Estas evaluaciones también han proporcionado una base sólida para futuras mejoras y desarrollos.

El dispositivo final posee un costo de producción de \$50,00 dólares americanos, logrando así cumplir con una solución práctica y asequible, considerando la existencia de dispositivos más avanzados que, si bien son más caros, ofrecen funciones adicionales que algunos usuarios pueden necesitar. Es importante que la elección de un dispositivo adecuado debe basarse en las necesidades específicas de cada individuo y, cuando sea posible, debe estar guiada por expertos en tecnología de asistencia.

## **4.2 Recomendaciones**

Es la mejor opción para el prototipo del mouse Bluetooth BLE debido a su tamaño compacto, bajo costo y alta funcionalidad. Su rendimiento en términos de movilidad del cursor es superior en comparación con las otras opciones. Recomendamos utilizar el ESP32 para maximizar la eficiencia del diseño y mantener el costo bajo, lo cual es crítico para el éxito del proyecto.

Aunque el MPU9250 tiene mejor documentación y soporte, el MPU6050 destaca por su facilidad de implementación y bajo consumo de energía. Para un dispositivo móvil como el mouse Bluetooth BLE, la eficiencia energética y la integración rápida son más importantes. Recomendamos optar por el MPU6050 para asegurar un desarrollo más rápido y una mayor duración de la batería, mejorando así la satisfacción del usuario final.

Asegurarse de que el prototipo tenga dimensiones adecuadas y sea ligero es esencial. Esto se puede lograr utilizando materiales livianos y accesibles en el mercado ecuatoriano.

Utilizar materiales y procesos de fabricación que mantengan los costos bajos sin comprometer la calidad.

Asegurarse de que todos los componentes sean fácilmente accesibles en el mercado local para evitar retrasos y costos adicionales.

Usar herramientas y recursos en línea como datasheets, foros de discusión y reviews para obtener información detallada sobre el rendimiento y la fiabilidad de los componentes.

# Capítulo 5

## 5 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] «<https://diposit.ub.edu/dspace/bitstream/2445/123506/1/092994.pdf>». Accedido: 22 de julio de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://diposit.ub.edu/dspace/bitstream/2445/123506/1/092994.pdf>
- [2] A. Panagiota, P. Ntaountaki, y A. Drigas, «ICTs in Inclusive Education for Sensory and Physical Disabilities», Clin. Exp. Investig., vol. 2021, n.o 1, pp. 1-6, mar. 2021, doi: 10.31487/j.CEI.2021.01.01.
- [3] A. Larco, P. Peñafiel, C. Yanez, y S. Luján-Mora, «Thinking about Inclusion: Designing a Digital App Catalog for People with Motor Disability», Sustainability, vol. 13, n.o 19, Art. n.o 19, ene. 2021, doi: 10.3390/su131910989.
- [4] «¿Qué es y cómo funciona un microcontrolador? | Blog UE», Universidad Europea. Accedido: 25 de julio de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://universidadeuropea.com/blog/que-es-microcontrolador/>
- [5] «Cómo seleccionar y usar el módulo ESP32 con Wi-Fi/Bluetooth adecuado para una aplicación de IoT industrial», DigiKey. Accedido: 24 de julio de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.digikey.com/es/articles/how-to-select-and-use-the-right-esp32-wi-fi-bluetooth-module>
- [6] «ESP32-C3 SuperMini Tipo C / Tarjeta de Expansión», UNIT Electronics. Accedido: 25 de julio de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://uelectronics.com/producto/esp32-c3-supermini-tipo-c-tarjeta-de-expansion/>
- [7] «Nano ESP32 | Arduino Documentation». Accedido: 25 de julio de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://docs.arduino.cc/hardware/nano-esp32/>
- [8] «Leonardo | Arduino Documentation». Accedido: 25 de julio de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://docs.arduino.cc/hardware/leonardo/>
- [9] «Qué es una PCB y cómo se compone | Blog SEAS». Accedido: 25 de julio de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.seas.es/blog/automatizacion/que-es-una-pcb-y-como-se-compone/>
- [10] «Welcome to Wokwi! | Wokwi Docs». Accedido: 25 de julio de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://docs.wokwi.com/>
- [11] «MPU6050 Accelerometer and Gyroscope Module», Components101. Accedido: 25 de julio de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://components101.com/sensors/mpu6050->

module

[12] «MPU6050/MPU6500/MPU9250 - Gyroscope, Accelerometer, Temperature and Magnetometer (MPU9250 only) | .NET nanoFramework Documentation». Accedido: 25 de julio de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://docs.nanoframework.net/devicesdetails/Mpu9250/README.html>

[13] syedzainnasir, «Introducción a Proteus - Los Proyectos de Ingeniería». Accedido: 25 de julio de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.theengineeringprojects.com/2020/01/introduction-to-proteus.html>

[14] «Arduino Integrated Development Environment (IDE) v1 | Arduino Documentation». Accedido: 25 de julio de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://docs.arduino.cc/software/ide-v1/tutorials/arduino-ide-v1-basics/>

[15] M. Carrión-Toro, M. Santórum G., P. Acosta-Vargas, J. Aguilar, y M. Perez, «iPlus a User-Centered Methodology for Serious Games Design», *Appl. Sci.*, vol. 10, p. 9007, dic. 2020, doi: 10.3390/app10249007.

[16] «Inicio - Scrum.org». Accedido: 20 de julio de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.scrum.org/index>

[17] A. Perez et al., «UNA METODOLOGÍA PARA EL DESARROLLO DE HARDWARE Y SOFTWARE EMBEBIDOS EN SISTEMAS CRÍTICOS DE SEGURIDAD», 2006.

[18] «<https://scrumguides.org/docs/scrumguide/v2020/2020-Scrum-Guide-Spanish-European.pdf>». Accedido: 20 de julio de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://scrumguides.org/docs/scrumguide/v2020/2020-Scrum-Guide-Spanish-European.pdf>

[19] «What is Scrum? | Scrum.org». Accedido: 31 de julio de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.scrum.org/resources/what-scrum-module>

[20] «Interruptor de botón, botón de encendido, botón 100 piezas 4x4x0,8 mm Interruptor táctil SMT SMD Interruptor de membrana táctil Botón pulsador SPST-NO 4 \* 4 \* 0,8 Interruptor de horno de microondas a : Amazon.com.mx: Herramientas y Mejoras del Hogar». Accedido: 29 de julio de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.amazon.com.mx/Interruptor-encendido-membrana-pulsador-microondas/dp/B0CZTW2LG1>

[21] «250 unids 10 tipos de pulsador táctil micro interruptor momentáneo kit de surtido de tacto para llave de control remoto de coche con caja de plástico: Amazon.com.mx: Herramientas y Mejoras del Hogar». Accedido: 29 de julio de 2024. [En línea]. Disponible en: [https://www.amazon.com.mx/pulsador-interruptor-moment%C3%A1neo-surtido-pl%C3%A1stico/dp/B07DNHS3FL/ref=sr\\_1\\_23?dib=eyJ2IjojMSJ9.mtLGyIKP1vFzVIN5zz2N](https://www.amazon.com.mx/pulsador-interruptor-moment%C3%A1neo-surtido-pl%C3%A1stico/dp/B07DNHS3FL/ref=sr_1_23?dib=eyJ2IjojMSJ9.mtLGyIKP1vFzVIN5zz2N)

tdW-jRuNqElqfuWz1wgfDIh-nCnD-2wQM7DYgdIZ36saz4q2-  
GdCXNI9kfxPi1ZuVvIbXszxqGJGmqt-  
tOan6c7nStiK7TYd3A0uuguNGkU375vbKfesqrxHBgDrLjzkcPIKpUJ2RHdr8A4WTG6FW-  
UeFnSvEAsXV\_tD\_\_P8wqHy7SQq\_pNENCffRcER8E2TQkCW7LTEi22AOscIqLLhpkd2kW  
imysmHd5nIE6qRgMMBdHEr3NB7Yf1eLrLCzG\_BsD7dDifspEFDfhzWhIHeoU.tj4oeTly3iD  
W6T5yeqTwLby6qLYEGQZ5XNZsXJ2u8IM&dib\_tag=se&keywords=Pulsador+4x4x0.8H&qj  
d=1722305215&sr=8-23&ufe=app\_do%3Aamzn1.fos.242f5c11-6cfd-40d6-91f6-  
be3d1974080c

[22] «Switch Pulsador 12x12x7.3mm de 4 Pines, Color Amarillo – ELECTRÓNICA GUATEMALA OXDEA». Accedido: 29 de julio de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://oxdea.gt/product/switch-pulsador-12x12x7-3mm-de-4-pines-color-amarillo/>

[23] T-vK, T-vK/ESP32-BLE-Mouse. (26 de julio de 2024). C++. Accedido: 27 de julio de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://github.com/T-vK/ESP32-BLE-Mouse>

[24] ElectronicCats/mpu6050. (21 de julio de 2024). C++. ElectronicCats. Accedido: 27 de julio de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://github.com/ElectronicCats/mpu6050>

[25] «Arduino/libraries/Wire/Wire.h at master · esp8266/Arduino», GitHub. Accedido: 27 de julio de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://github.com/esp8266/Arduino/blob/master/libraries/Wire/Wire.h>

[26] «GitHub - TKJElectronics/KalmanFilter: This is a Kalman filter used to calculate the angle, rate and bias from from the input of an accelerometer/magnetometer and a gyroscope.» Accedido: 27 de julio de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://github.com/TKJElectronics/KalmanFilter/tree/master>

[27] MCL, «FR4 Material Guide: What is FR4 Material?», mcl. Accedido: 27 de julio de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.mclpcb.com/blog/fr4-guide/>

[28] J. Brooke, «SUS: A quick and dirty usability scale», Usability Eval Ind, vol. 189, nov. 1995.

# Capítulo 6

## 6 ANEXOS

Se presentan los anexos referentes al Proyecto:

- Anexo 1: Formulario de Entrevista.
- Anexo 2: Formulario de Objetivos Pedagogicos.
- Anexo 3: Matriz de refinamiento
- Anexo 4: Planificación Scrum
- Anexo 5: Mouse
- Anexo 6: Placa
- Anexo 7: Uso del prototipo
- Anexo 8: Scroll
- Anexo 9: Clic Derecho
- Anexo 10: Clic izquierdo
- Anexo 11: Análisis del SUS
- Anexo 12: Resumen Proyecto Resultado Final
- Anexo 13: Encuesta SUS - Usuario Final
- Anexo 14: SHIFT y ALTGR