

**Universidad Internacional de La Rioja (UNIR)**

**Escuela de Ingeniería**

**Máster Universitario en Diseño y Gestión de  
Proyectos Tecnológicos**

App de rehabilitación  
muscular para amputación  
transradial mediante  
videojuegos utilizando  
señales electromiográficas

**Trabajo Fin de Máster**

**Presentado por:** Flores Garzón, Karina Mireya

**Director:** Medrano Rodríguez, Celia

Ciudad: Ibarra - Ecuador

Fecha: 22 de julio de 2021

## Resumen

Existen millones de personas a nivel mundial con amputaciones de extremidades superiores debido a diferentes causas traumáticas, provocando que muchas personas necesiten utilizar una prótesis mioeléctrica para poder realizar sus actividades diarias. Para ello se requiere de una rehabilitación muscular intensiva, sencilla y dinámica que ayude a que las personas aprendan a controlar y usar de manera satisfactoria la prótesis. En este proyecto se presenta una aplicación móvil que tiene como objetivo realizar rehabilitación muscular personalizada para amputación transradial mediante videojuegos utilizando señales electromiográficas, que pueda usarse de manera sencilla y cómoda desde el domicilio del paciente, permitiendo un monitoreo y evaluación en tiempo real. Para el proyecto se seguirá la guía del PMBOK en combinación con la metodología SCRUM para el desarrollo de software. Se espera que la aplicación móvil brinde una rehabilitación más efectiva para potenciar la capacidad de las personas con amputación transradial de vivir mejor e independientemente.

**Palabras Clave:** App móvil, rehabilitación muscular, amputación transradial, videojuegos, gestión proyectos.

## Abstract

There are millions of people worldwide with upper limb amputations due to different traumatic causes, leading to the use of a myoelectric prosthesis to be able to perform their daily activities. This requires an intensive, simple, and dynamic muscular rehabilitation that helps people learn to control and use the prosthesis in a satisfactory way. In this project, we present a mobile application aims to perform personalized muscle rehabilitation for transradial amputation through video games using electromyographic signals, which can be used easily and comfortably from the patient's home, allowing real-time monitoring and evaluation. The project will follow the PMBOK guide in combination with the SCRUM methodology for software development. The mobile application is expected to provide more effective rehabilitation to enhance the ability of transradial amputees to live better and independently.

**Keywords:** Mobile app, muscle rehabilitation, transradial amputation, video games, project management.

# Índice de contenido

|   |           |
|---|-----------|
| <b>1. Introducción .....</b>  | <b>9</b>  |
| 1.1    Motivación .....   | 9         |
| 1.2    Planteamiento del trabajo .....  | 10        |
| 1.3    Estructura del trabajo .....   | 11        |
| <b>2    Contexto y estado del arte.....</b>   | <b>13</b> |
| 2.1    Análisis del contexto .....  | 13        |
| 2.2    Estado del arte .....  | 19        |
| 2.2.1    Rehabilitación del miembro superior mediante aplicaciones de videojuegos ..... | 19        |
| 2.2.2    Tipos de sensores que permiten captar señales EMG .....                        | 30        |
| <b>3    Objetivos y metodología de trabajo.....</b>                                     | <b>34</b> |
| 3.1    Objetivo general y específicos .....   | 34        |
| 3.2    Descripción del proyecto .....   | 34        |
| 3.3    Metodología de trabajo .....   | 39        |
| 3.3.1    Planificación del proyecto .....   | 39        |
| 3.3.2    Proceso de desarrollo del proyecto .....                                       | 43        |
| <b>4    Desarrollo específico de la contribución.....</b>                               | <b>45</b> |
| 4.1    Perfiles de trabajo .....  | 45        |
| 4.2    Planificación de tareas .....  | 50        |
| 4.3    Hitos .....  | 59        |
| 4.4    Riesgos y plan de contingencia .....   | 60        |
| 4.4.1    Identificación de los riesgos .....  | 60        |
| 4.4.2    Análisis, cuantificación y priorización de los riesgos.....                    | 62        |
| 4.4.3    Respuesta a los riesgos .....  | 65        |
| 4.4.4    Monitorización y control .....   | 67        |
| 4.5    Plan de calidad .....  | 72        |
| 4.5.1    Objetivos del Plan de calidad .....  | 72        |
| 4.5.2    Alcance del Plan de calidad .....  | 72        |
| 4.5.3    Establecimiento de las métricas de calidad .....                               | 72        |
| 4.5.4    Proceso de producción de entregables.....                                      | 73        |
| 4.5.5    Proceso de revisión de entregables .....                                       | 74        |
| 4.5.6    Proceso de monitorización y evaluación de la calidad .....                     | 75        |
| 4.6    Plan de comunicaciones.....  | 76        |

|          |   |            |
|----------|---|------------|
| 4.6.1    | Medios de comunicación .....                            | 76         |
| 4.6.2    | Plataformas y herramientas de colaboración .....        | 77         |
| 4.6.3    | Reuniones.....  | 77         |
| 4.7      | Plan de diseminación, comunicación y explotación .....  | 78         |
| 4.7.1    | Plan de diseminación y comunicación .....               | 78         |
| 4.7.2    | Plan de explotación.....                                | 80         |
| 4.8      | Presupuesto .....                                       | 82         |
| 4.8.1    | Costes directos de personal .....                       | 82         |
| 4.8.2    | Otros costes directos.....                              | 84         |
| <b>5</b> | <b>Conclusiones y trabajo futuro.....</b>               | <b>88</b>  |
| 5.1      | Principales conclusiones .....                          | 88         |
| 5.2      | Líneas de trabajo futuro.....                           | 90         |
|          | <b>Referencias bibliográficas.....</b>                  | <b>91</b>  |
|          | <b>Anexo I: Ficha de control de documentos.....</b>     | <b>97</b>  |
|          | <b>Anexo II: Código de fichero del documento.....</b>   | <b>98</b>  |
|          | <b>Anexo III: Ficha de revisión de documentos .....</b> | <b>99</b>  |
|          | <b>Anexo IV: Acta de reunión.....</b>                   | <b>100</b> |

## Índice de figuras

|   |    |
|---|----|
| Figura 1. Ratios empleo / población por estatus de discapacidad.....                    | 14 |
| Figura 2. Causas traumáticas de amputación de extremidades.....                         | 14 |
| Figura 3. Causas de amputación de la extremidad superior.....                           | 15 |
| Figura 4. Amputación a nivel transradial.....   | 15 |
| Figura 5. Señal electromiográfica (EMG).....  | 17 |
| Figura 6. Porcentaje de personas con discapacidad que necesitan productos de apoyo..... | 18 |
| Figura 7. Aplicación Fitness para amputados.....  | 20 |
| Figura 8. Aplicación Rephysio.....  | 21 |
| Figura 9. Aplicación Myo Plus.....  | 22 |
| Figura 10. Interfaz de un juego de ADAPT-MP.....  | 23 |
| Figura 11. Configuración experimental.....  | 24 |
| Figura 12. Descripción general de los tres juegos.....                                  | 25 |
| Figura 13. Aplicación Myo Armand.....   | 26 |
| Figura 14. Interfaz del BioFeedback de la aplicación "MyoBeatz".....                    | 26 |
| Figura 15. Interfaz de Upbeat.....  | 27 |
| Figura 16. Captura de pantalla de la pantalla de selección de dificultad del juego..... | 28 |
| Figura 17. Captura de pantalla del juego.....   | 28 |
| Figura 18. Brazalete Myo.....   | 30 |
| Figura 19. Dispositivo de sensorizado EMG DueLite.....                                  | 31 |
| Figura 20. Ejemplo de colocación del DueLite.....                                       | 32 |
| Figura 21. Sensor muscular MyoWare.....   | 32 |
| Figura 22. Interfaz visual de registro e ingreso de datos del paciente.....             | 35 |
| Figura 23. Interfaz visual de la aplicación móvil para entrenamiento muscular.....      | 36 |

|  |    |
|--|----|
| Figura 24. Diagrama de funcionamiento del proyecto.....                  | 37 |
| Figura 25. Diagrama general del proyecto.....                            | 38 |
| Figura 26. Componentes clave de los proyectos de la Guía del PMBOK. .... | 40 |
| Figura 27. Proceso de la metodología SCRUM. ....                         | 41 |
| Figura 28. Metodología de trabajo.....                                   | 41 |
| Figura 29. EDR del proyecto. ....  | 60 |
| Figura 30. Presupuesto desglosado por socio.....                         | 86 |
| Figura 31. Presupuesto desglosado por tipo de coste. ....                | 87 |
| Figura 32. Presupuesto desglosado por paquetes de trabajo.....           | 87 |

## Índice de tablas

|   |    |
|---|----|
| Tabla 1. Resumen de las características de los trabajos presentados.....              | 29 |
| Tabla 2. Sprint para el desarrollo de la interfaz visual de la aplicación. ....       | 42 |
| Tabla 3. Sprint para el desarrollo de los videojuegos. ....                           | 42 |
| Tabla 4. Miembros del consorcio del proyecto.....                                     | 45 |
| Tabla 5. Perfiles de los trabajadores de Techlde.....                                 | 46 |
| Tabla 6. Resultados del trabajo de MossRehab. ....                                    | 47 |
| Tabla 7. Perfiles de los trabajadores de MossRehab.....                               | 47 |
| Tabla 8. Perfiles de los trabajadores de OT Bioelettronica. ....                      | 48 |
| Tabla 9. Perfiles de los trabajadores de Dublin City University.....                  | 49 |
| Tabla 10. Lista de paquetes de trabajo (WP).....                                      | 50 |
| Tabla 11. WP1 - Gestión del proyecto.....   | 50 |
| Tabla 12. WP2 - Definición de protocolo para el entrenamiento pre-protésico.....      | 51 |
| Tabla 13. WP3 - Desarrollo de la interfaz visual de la aplicación.....                | 52 |
| Tabla 14. WP4 - Desarrollo de los videojuegos. ....                                   | 52 |
| Tabla 15. WP5 - Análisis de datos.....  | 54 |
| Tabla 16. WP6 - Comunicación entre el dispositivo de sensorizado y la aplicación..... | 55 |
| Tabla 17. WP7 - Integración, evaluación y validación.....                             | 55 |
| Tabla 18. WP8 - Diseminación, comunicación y explotación de resultados.....           | 57 |
| Tabla 19. Diagrama de Gantt del proyecto. ....  | 57 |
| Tabla 20. Lista de hitos del proyecto. ....   | 59 |
| Tabla 21. Identificación de los riesgos del proyecto.....                             | 61 |
| Tabla 22. Matriz de Probabilidad e Impacto .....                                      | 62 |
| Tabla 23. Priorización en función del riesgo. ....                                    | 62 |

|   |    |
|---|----|
| Tabla 24. Matriz de cuantificación y priorización de los riesgos..... | 63 |
| Tabla 25. Acciones de mitigación a los riesgos del proyecto.....      | 65 |
| Tabla 26. Matriz AMFE: Parámetro Severidad. ....                      | 67 |
| Tabla 27. Matriz AMFE: Parámetro Probabilidad.....                    | 67 |
| Tabla 28. Matriz AMFE: Parámetro Impacto.....                         | 68 |
| Tabla 29. Matriz AMFE: Parámetro Importancia.....                     | 68 |
| Tabla 30. Clasificación del riesgo según su NPR. ....                 | 68 |
| Tabla 31. Resumen de riesgos del proyecto.....                        | 69 |
| Tabla 32. Métricas de calidad del proyecto. ....                      | 72 |
| Tabla 33. Criterios científicos. ....                                 | 74 |
| Tabla 34. Criterios de forma. ....                                    | 74 |
| Tabla 35. Modelo para la evaluación de la calidad. ....               | 75 |
| Tabla 36. Medios de comunicación a utilizarse en el proyecto. ....    | 76 |
| Tabla 37. Estructura de las reuniones. ....                           | 77 |
| Tabla 38. Canales para la diseminación del proyecto.....              | 79 |
| Tabla 39. Costes directos de personal de TECH.....                    | 82 |
| Tabla 40. Costes directos de personal de MOSRH. ....                  | 83 |
| Tabla 41. Costes directos de personal de OTB. ....                    | 83 |
| Tabla 42. Costes directos de personal de DCU.....                     | 84 |
| Tabla 43. Otros costes directos de TECH. ....                         | 84 |
| Tabla 44. Otros costes directos de MOSRH. ....                        | 84 |
| Tabla 45. Otros costes directos de OTB.....                           | 85 |
| Tabla 46. Otros costes directos de DCU. ....                          | 85 |
| Tabla 47. Desglose del presupuesto total del proyecto. ....           | 86 |

# 1. Introducción

En este primer capítulo se presentará las razones por las cuales se ha decidido desarrollar el proyecto basado en la creación de una aplicación móvil de rehabilitación muscular para amputación transradial, la importancia de resolver el problema inicial, la propuesta que se plantea para solucionarlo y una breve descripción de lo que se va a realizar en el presente documento.

## 1.1 Motivación

Las personas con discapacidad conforman uno de los asociados más marginados de la sociedad, de acuerdo con la Organización Mundial de la Salud (2017). Por consiguiente, ahora la discapacidad se considera como una cuestión de derechos humanos. Una gran parte de este conjunto de personas discapacitadas lo componen los que padecen de una discapacidad física o motora, y para eso la rehabilitación juega un papel fundamental, debido a que ayuda a potenciar la capacidad de vivir de mejor manera y de forma independiente.

Cada año ocurre más de un millón de amputaciones en todo el mundo debido a diferentes causas traumáticas, por esto los avances en la rehabilitación son relevantes ya que mejoran la calidad de vida de los amputados (Mioton & Dumanian, 2018). Además, teniendo en cuenta que la amputación a nivel transradial, también conocida como “debajo del codo”, tiene una frecuencia que ronda el 35% de los casos y que la prótesis mioeléctrica, la cual se activa con señales electromiográficas (EMG) es la que alcanza una mayor funcionalidad; es necesario enfocarse en la rehabilitación muscular para amputaciones a nivel transradial en la etapa pre-protésica (Guirao Cano et al., 2020).

Los amputados de extremidades superiores necesitan de un adecuado control del movimiento de manos y brazos mediante la actividad muscular del muñón para un correcto uso de las prótesis mioeléctricas, por esta razón requieren de un entrenamiento intensivo para manejarlas con eficacia (Winslow et al., 2018). El apoyo de los sistemas sanitarios locales ha sido un factor determinante para la rehabilitación, ya que las personas que no cuentan con este apoyo, es decir de un médico local, les resulta difícil aprender a controlar su prótesis. En consecuencia, la mayoría de sus usuarios abandonan sus dispositivos, esto también se debe a la poca motivación con la que cuentan para entrenar por sí solos. (Widehammar et al., 2018) (C Prahm et al., 2017)

En este sentido, los sistemas de entrenamiento de realidad virtual brindan una rehabilitación más eficaz para las personas con amputación en las extremidades superiores. Además, se ha logrado demostrar que el entrenamiento mediante videojuegos mejora el uso de prótesis

mioeléctricas, específicamente el control muscular; y también puede mejorar de manera potencial el éxito de la rehabilitación fuera de la clínica (Bates et al., 2020).

Actualmente existen varias soluciones que buscan brindar una rehabilitación mucho más efectiva mediante el uso de la tecnología de asistencia, como es el caso de los dispositivos móviles. Entre las soluciones existentes algunas están en estado experimental mientras que otras ya están disponibles para su uso en los dispositivos móviles mediante la App Store y Play Store para IOS y Android respectivamente.

Todas las soluciones desarrolladas hasta el momento son muy buenas y tienen algunas características en común, tales como, entrenamiento mediante videojuegos con diferentes niveles para los ejercicios de rehabilitación, utilizan un dispositivo externo o sensor para captar las señales EMG que se comunica mediante Bluetooth con la aplicación móvil, para este último existen varias opciones de dispositivos para medir las señales EMG obtenidas de la activación muscular, entre los más destacados en el mercado son: Brazalete Myo, DueLite y MyoWare.

Pese a ello dichas soluciones no logran cubrir todas las necesidades de las personas que requieren de una rehabilitación efectiva de la extremidad superior, debido a que no cuentan con una retroalimentación visual durante el entrenamiento, tampoco poseen una evaluación y análisis de las señales EMG para crear un entrenamiento más personalizado y finalmente ninguna solución funciona en modo offline.

## 1.2 Planteamiento del trabajo

El objetivo de este proyecto es brindar una rehabilitación completa y accesible a personas con amputación a nivel transradial mediante una aplicación móvil de monitoreo, evaluación y análisis utilizando videojuegos, permitiendo que las personas consigan un mayor control para el uso de prótesis mioeléctricas. Por lo tanto, el presente proyecto está enfocado en el objetivo número 3 “Salud y Bienestar” de la Agenda 2030 de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (Naciones Unidas, 2019), específicamente el proyecto busca ayudar a las personas con discapacidad motriz, en este caso está orientado para las que perdieron sus extremidades superiores, ya sea de nacimiento (congénita), por un accidente, enfermedades como la diabetes, etc.

En este sentido, se propone crear una aplicación móvil que ayude a realizar el tratamiento pre-protésico, es decir, que permita el entrenamiento para la rehabilitación de las articulaciones del miembro superior (hombro, codo y muñeca) mediante las señales electromiográficas (EMG) en personas con amputación transradial. La finalidad de este entrenamiento es obtener fuerza y resistencia en los músculos del miembro superior. Además,

se busca que el paciente logré el control sobre sus impulsos eléctricos para el correcto uso de una prótesis mioeléctrica.

El entrenamiento para la rehabilitación del miembro superior se realizará mediante videojuegos interactivos en 3D utilizando *Unity*, ya que permiten una mejor retroalimentación lo que hace que la rehabilitación sea más interactiva y dinámica. Los videojuegos contarán con 3 niveles (básico, intermedio y avanzado) para cada tipo de movimiento a entrenar. Para este caso se entrenarán los movimientos principales del miembro superior, mismos que logran un entrenamiento funcional, permitiendo realizar actividades básicas y generando mayor independencia de la persona.

Esta aplicación permite el monitoreo, evaluación y análisis de las señales EMG obtenidas de la persona mediante Redes Neuronales, *Maching Learning* y *Big Data*. Esto ayuda a saber el tiempo de entrenamiento estimado para qué el músculo tenga la fuerza y resistencia necesaria para llegar a un estado ideal. Además, de esta manera se consigue un correcto uso de la prótesis con base a la valoración inicial de la persona. Asimismo, contará con una valoración de un profesional (fisioterapeuta) mediante telemedicina para brindar un mayor seguimiento y control del avance del proceso de rehabilitación de la persona.

Para esto la aplicación móvil obtendrá datos del paciente mediante un dispositivo de sensorizado EMG inalámbrico, para luego ser guardados en una base de datos en el servidor de Azure. Este dispositivo será colocado en los músculos del miembro superior y las señales EMG serán enviadas mediante comunicación Bluetooth. Éstas servirán para activar las funciones del videojuego y para ser analizadas por una red neuronal previamente entrenada, teniendo en cuenta los parámetros establecidos en el protocolo de entrenamiento, tales como, número de series (repeticiones del movimiento), intervalo de descanso, tiempo de entrenamiento, cantidad de fuerza requerida, entre otros.

El proyecto tiene una duración total de un año, y tiene como finalidad crear una aplicación móvil de rehabilitación muscular para amputación transradial mediante videojuegos utilizando señales electromiográficas, permitiendo que el paciente realice por sí solo el entrenamiento desde la comodidad de su domicilio. Además, la aplicación permite realizar un monitoreo y evaluación en tiempo real personalizado para el paciente; todo esto con base a la fuerza ejercida en los movimientos entrenados. Asimismo, es fundamental destacar que esta aplicación móvil generará un gran impacto a nivel emocional, económico, social y tecnológico.

### 1.3 Estructura del trabajo

El presente proyecto cuenta con una estructura conformada por cinco capítulos. A continuación, se describe de manera breve cada uno:

**Capítulo 1: Introducción del proyecto.** En este primer capítulo, se ha relatado la motivación que llevo a realizar este proyecto, la cual fue que la situación actual de las personas que sufrieron de una amputación transradial no tienen la facilidad para una adecuada rehabilitación en la fase inicial para posteriormente lograr usar una prótesis mioeléctrica de manera correcta, lo que les impide tener una vida de calidad. El capítulo concluye con un resumen de la solución planteada para mejorar la rehabilitación de estas personas mediante una aplicación móvil accesible.

**Capítulo 2: Contexto y estado del arte.** En este segundo capítulo, se presentará una contextualización del proyecto a desarrollar, es decir a que público va dirigido el proyecto. Asimismo, se analiza las soluciones comerciales y experimentales existentes para la rehabilitación del miembro superior mediante aplicaciones de videojuegos para personas con amputaciones transradiales que permitan resolver el problema planteado; y también la tecnología utilizada para la adquisición de las señales electromiográficas las cuales son indispensables para el control y manejo de una prótesis mioeléctrica.

**Capítulo 3: Objetivos y metodología de trabajo.** En este tercer capítulo, se detalla los objetivos generales y específicos que se busca conseguir con el desarrollo de este proyecto. También se explica de manera detallada en que consiste el proyecto, el cual es una aplicación móvil de rehabilitación muscular para amputación transradial mediante videojuegos utilizando señales electromiográficas. Finalmente, en el capítulo se incluye una descripción de la metodología de gestión y metodología de desarrollo; puesto que para este proyecto se va a utilizar una metodología híbrida para su planificación.

**Capítulo 4: Desarrollo específico de la contribución.** En este cuarto capítulo, se desarrolla el proyecto, es decir, en donde se presenta los perfiles de los socios del proyecto, una descripción de los paquetes de trabajo incluyendo sus respectivas tareas, se indica el cronograma que seguirá el proyecto, se describe el plan de calidad y riesgos del proyecto, así como también la forma en cómo se gestionarán las comunicaciones durante el ciclo de vida del proyecto. Por último, se presenta el plan de diseminación, comunicación y explotación del resultado obtenido del desarrollo del proyecto.

**Capítulo 5: Conclusiones y trabajo futuro.** En este quinto capítulo, se presenta las conclusiones una vez finalizado el proyecto. Además, se expone de manera general las nuevas mejoras que se puede incluir en el proyecto y también las nuevas áreas en las que en un futuro se puede desarrollar un proyecto similar al descrito.

## 2 Contexto y estado del arte

Este capítulo está dividido en dos partes. En la primera parte se explica el contexto en el qué se desarrollará el proyecto, y en la segunda parte se hace un análisis y comparación de las soluciones comerciales y experimentales existentes, así como también de los dispositivos de sensorizado para captar señales electromiográficas disponibles en el mercado.

### 2.1 Análisis del contexto

La Organización Mundial de la Salud (2017) indica que las personas con discapacidad conforman uno de los asociados más marginados de la sociedad, debido a que tienen dificultades significativas para funcionar y llevar una vida normal. En consecuencia, ahora la discapacidad es considerada como una cuestión de derechos humanos. Éstos comprenden varios aspectos de la vida, tales como, derecho a formar una familia, acceder a la atención médica, vivir en la propia comunidad, ir a la escuela, poder hacer deporte, viajar, participar en la política y tener un trabajo decente (Guterres, 2020).

Asimismo, de acuerdo con el objetivo número 3 “Salud y Bienestar” de la Agenda 2030 de los Objetivos de Desarrollo Sostenible, es importante que se garantice una vida sana y también que se promueva el bienestar de todos a todas las edades para la construcción de sociedades prósperas (Naciones Unidas, 2016, p. 1).

Actualmente el derecho que más se ha visto afectado es el de tener un trabajo decente, pues la brecha de empleo en varias regiones del mundo se ha incrementado y en algunos grupos sociales determinados tales como las personas con discapacidad (figura 1) (Department of Economic and Social Affairs, 2018).

Una parte importante de este grupo de personas discapacitadas lo conforman los que padecen una discapacidad física o motora, esta categoría engloba a las personas que sufren alguna limitación física debido a traumas, accidentes, enfermedades, etc. (Simões & Aneiros, 2021). Estas causas convergen en la eliminación de una parte del cuerpo, es decir en una amputación, lo que ocasiona que las personas no puedan trabajar o funcionar como lo venían haciendo anteriormente (Disability Benefits Help, 2021) y por ello la rehabilitación juega un papel importante, ya que ayuda a potenciar la capacidad de vivir de manera digna y de forma independiente.

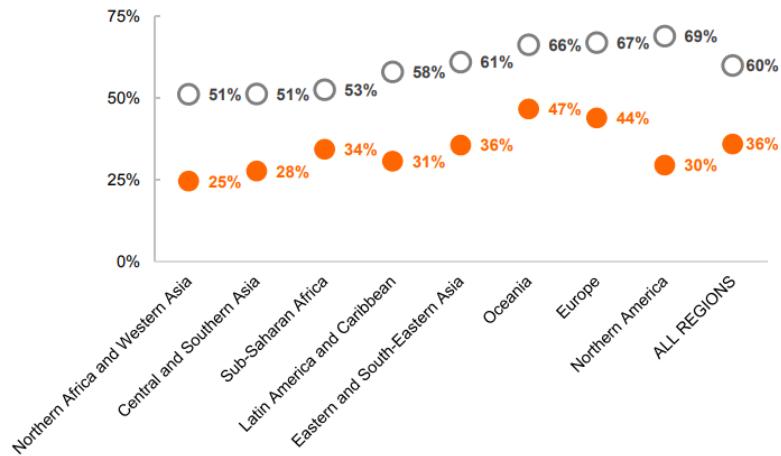


Figura 1. Ratios empleo / población por estatus de discapacidad.

Fuente: Recuperado del reporte de (Department of Economic and Social Affairs, 2018).

Nota1: El color naranja representa a las personas con discapacidades y el color blanco representa a las personas sin discapacidades.

Nota2: Basado en datos de 91 países y territorios de 8 regiones. Para algunos países, los datos corresponden al grupo de edad de 15 a 64 años, en 2006-2016.

En 2017, vivían 57,7 millones de personas a nivel mundial con amputación de extremidades debido a diferentes causas traumáticas de amputación de miembros, siendo las caídas la causa más común (figura 2) (McDonald et al., 2021). Asimismo, cada año éstas cifras se incrementan en más de un millón de amputaciones en todo el mundo, por ello los avances en la rehabilitación son importantes ya que mejoran la calidad de vida de los amputados (Mioton & Dumanian, 2018).



Figura 2. Causas traumáticas de amputación de extremidades.

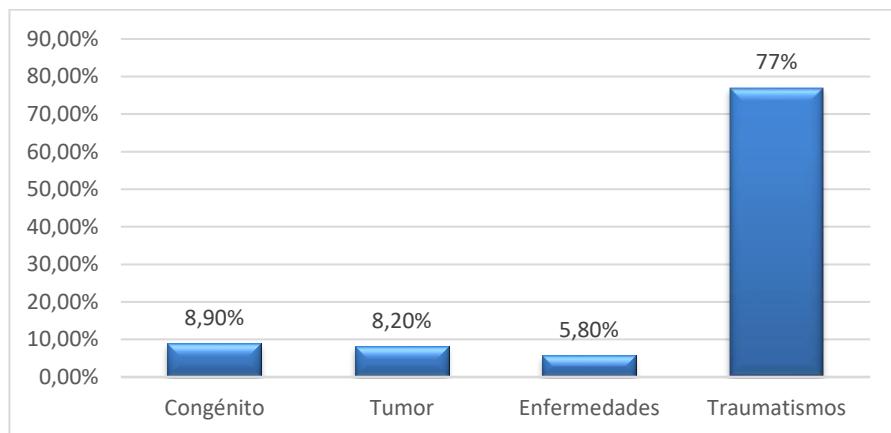
Fuente: Elaboración propia a partir de (McDonald et al., 2021).

Las amputaciones de extremidades pueden ser superiores o inferiores. En el caso de las amputaciones de extremidades superiores se ha notado que la causa más frecuente de

App de rehabilitación muscular para amputación transradial mediante videojuegos 14 utilizando señales electromiográficas

amputación es el traumatismo (figura 3) (ISHN, 2014). Los niveles de amputaciones más importantes de las extremidades superiores se clasifican de la siguiente manera:

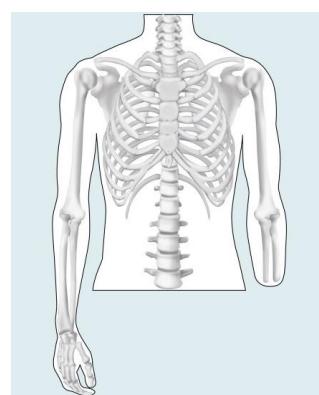
- Desarticulación de la muñeca
- Amputación transradial
- Desarticulación del codo
- Amputación transhumeral
- Desarticulación del hombro (Medicina de Michigan, s. f.).



*Figura 3. Causas de amputación de la extremidad superior.*

Fuente: Elaboración propia a partir de (ISHN, 2014).

La amputación transradial, también conocida como "debajo del codo", se produce en el área del antebrazo (figura 4), esta se puede diferenciar entre amputación larga, media, corta o muy corta, dicha amputación se produce a través del radio y el cúbito de la parte inferior del brazo (Ottobock, 2020a). Teniendo en cuenta que la amputación a nivel transradial tiene una frecuencia que ronda el 35% de los casos, es necesario enfocarse en la rehabilitación muscular para amputaciones a nivel transradial (Guirao Cano et al., 2020, p. 1).



*Figura 4. Amputación a nivel transradial.*

Fuente: Recuperado de (Ottobock, 2020a).

La rehabilitación muscular para personas con amputaciones tiene tres etapas importantes:

- Valoración
- Tratamiento Pre-protésico
- Tratamiento Pos-protésico

El tratamiento pre-protésico o rehabilitación temprana tiene una gran importancia debido a que ayuda a optimizar recursos económicos, tiempo y sobre todo reduce el grado de discapacidad de la persona, pues en esta etapa se da el fortalecimiento musculoesquelético que consiste en la tonificación muscular que refuerza la capacidad del paciente, lo cual es esencial para alcanzar la rehabilitación completa que determina que la persona está apta para recibir una prótesis (Núñez & Urquiza, 2016).

En la actualidad las personas con amputaciones a nivel transradial pueden hacer uso de una prótesis mioeléctrica, debido a que esta alcanza una mayor funcionalidad permitiendo recuperar la operatividad de la extremidad superior, ya que ofrece poderosos beneficios para el control de los movimientos de manos y brazos a través de la función muscular del muñón (Winslow et al., 2018, p. 1). Sin embargo, la extremidad superior es compleja pues tiene huesos, músculos y haces neurovasculares que juntos forman un apéndice funcional que permite que las personas puedan realizar sus actividades diarias (Maduri & Akhondi, 2020). Por lo tanto, para realizar la rehabilitación muscular a nivel transradial es necesario tener en cuenta todas las articulaciones de la extremidad superior, las cuales son:

- Hombro
- Codo
- Muñeca

Por consiguiente, para lograr un correcto uso de las prótesis mioeléctricas se requiere de un entrenamiento intenso, debido a que éstas se activan mediante señales electromiográficas (EMG); estas son señales eléctricas que se generan por un músculo cuando se encuentra en un proceso de contracción y relajación (Konrad, 2005), las cuales pueden ser captadas a nivel intramuscular o a nivel de superficie. Este último consiste en capturar la actividad bioeléctrica del músculo detectada en la piel (Villarroya, 2005). Las EMG están compuestas por potenciales de acción en la membrana de fibra muscular como resultado de procesos de despolarización, estos se refieren al contraste de potenciales de acción (figura 5), es decir al cambio de amplitud cuando el músculo se encuentra en reposo y contracción muscular (actividad) (Guzmán-Muñoz & Méndez-Rebolledo, 2018).

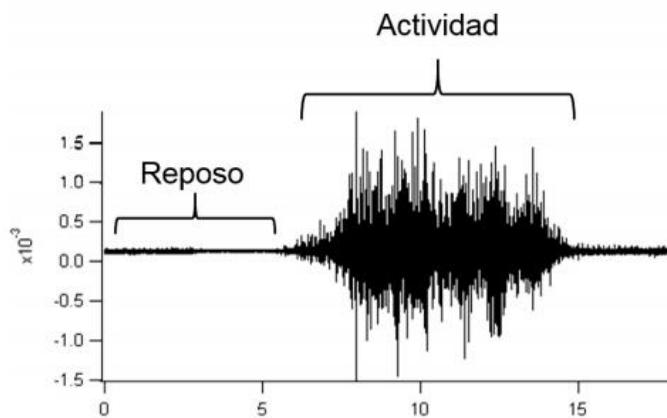


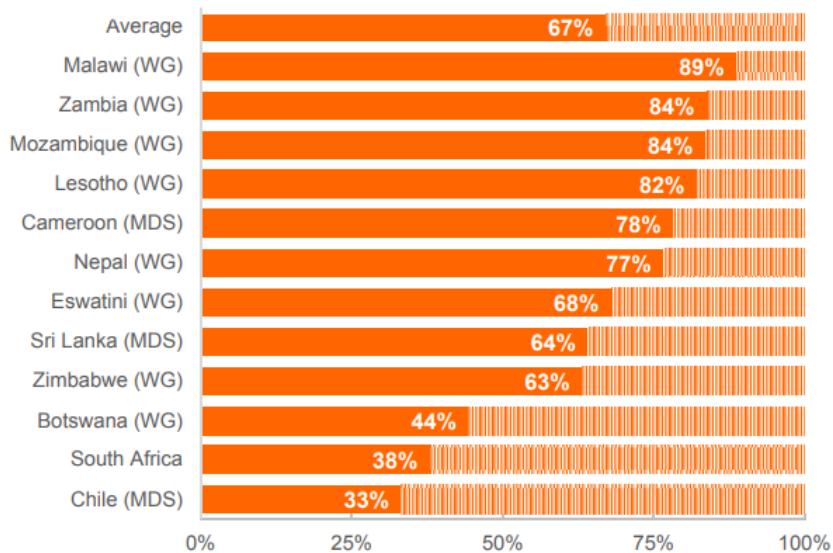
Figura 5. Señal electromiográfica (EMG).

Fuente: Recuperado de (Guzmán-Muñoz & Méndez-Rebolledo, 2018).

En este sentido el apoyo de los sistemas sanitarios locales ha sido un factor determinante para la rehabilitación, puesto que las personas que no cuentan con este apoyo, es decir de un médico local, les resulta difícil aprender a controlar su prótesis debido a las dificultades que supone su control y a esto se agrega que existe poca motivación por parte de los usuarios para entrenar por sí solos, obteniendo como consecuencia que la mayoría de usuarios abandonen sus dispositivos (Widehammar et al., 2018) (C Prahm et al., 2017). Por ello es necesario la tecnológica de asistencia, puesto que tiene beneficios tanto en la salud como en los económico, por lo tanto, los productos de asistencia tecnológica, tales como, dispositivos, equipos, instrumentos y software brindan efectos socioeconómicos positivos; pues mejoran el acceso de los usuarios a la educación y a su vez esto apoya la participación en el trabajo.

Asimismo, la tecnología de asistencia permite mejorar el funcionamiento e independencia de la persona, promoviendo su bienestar y que puedan vivir una vida productiva y digna. Sin embargo, aún existe desigualdad para el acceso a la tecnología de asistencia para personas con discapacidad, dando lugar a una gran necesidad insatisfecha de productos de asistencia (figura 6). Además, la falta de productos de asistencia tecnológica eficaces ha mermado la capacidad de las personas con discapacidad de participar enteramente en la sociedad (Department of Economic and Social Affairs, 2018).

Por lo expresado anteriormente, la rehabilitación se ha convertido en el pilar fundamental en el tratamiento de una persona con alguna deficiencia parcial o total de una extremidad, pues varios estudios han demostrado que la rehabilitación efectiva y adecuada permite mejorar la funcionalidad y la satisfacción del paciente, logrando aumentar la autonomía en el cuidado, lo que facilita el éxito del diseño protésico (Soyer et al., 2016). Es por ello que hoy en día es una necesidad apremiante el aumentar los servicios de salud para personas con discapacidad, en específico en las intervenciones de rehabilitación (Organización Mundial de la Salud, 2020).



*Figura 6. Porcentaje de personas con discapacidad que necesitan productos de apoyo.*

*Fuente: Recuperado de (Department of Economic and Social Affairs, 2018).*

*Nota 1:* El color naranja representa a las personas que necesitan, pero no tienen apoyo y el otro color representa a las personas que necesitan y han recibido apoyo.

*Nota 2:* (WG) identifica los países con datos recopilados con el Conjunto breve de preguntas del Grupo de Washington; (MDS) identifica los países con datos recopilados con el Modelo de Encuesta sobre Discapacidad. Los datos de Camerún provienen de un distrito seleccionado en el país y deben interpretarse con cautela porque se basan en 25 a 49 observaciones. Los datos fueron tomados de alrededor de 12 países en 2013.

*Nota 3:* Productos de apoyo (p. Ej., Intérprete de lenguaje de señas, silla de ruedas, audífonos, braille).

En los últimos años se ha incrementado el uso de las tecnologías de la información y comunicación (TIC), por lo que hablar de telerehabilitación ya es una realidad, para esto es necesario la ayuda de sistemas de software e inclusive aplicaciones móviles. Éstos incluyen varias funcionalidades, tales como: programación de tareas / actividades, gestión de un plan de ejercicios de entrenamiento y generación de informes / estadísticas del avance del paciente (Hosseiniravandi et al., 2020).

De la misma forma, los sistemas de entrenamiento de realidad virtual han permitido una rehabilitación más eficaz para las personas con amputación en las extremidades superiores y teniendo en cuenta que se ha logrado demostrar que el entrenamiento mediante videojuegos ayuda a mejorar el uso de las prótesis mioeléctricas (específicamente el control muscular) y que también este tipo de entrenamiento mejoraría de manera potencial el éxito de la rehabilitación fuera de la clínica (Bates et al., 2020, p. 490); se ha determinado que es necesario incluir videojuegos en el protocolo de rehabilitación de amputados de miembros superiores, pues éstos tendrían un gran impacto positivo en la coordinación, preparación muscular y sobre todo en la motivación del paciente (Hashim et al., 2021).

## 2.2 Estado del arte

En este apartado se analizará dos aspectos importantes relacionados al proyecto propuesto, en lo que respecta al estado del arte, los cuales son: rehabilitación del miembro superior mediante aplicaciones de videojuegos y tipos de sensores que permiten captar señales EMG. A continuación, se describen los dos aspectos:

### 2.2.1 Rehabilitación del miembro superior mediante aplicaciones de videojuegos

Los videojuegos de realidad aumentada en conjunto con los sistemas de interfaz humano-computadora están aumentando rápidamente su popularidad, pues éstos no son utilizados únicamente con fines de entretenimiento, sino que también son utilizados en ejercicios de entrenamiento muscular. Por otra parte, los videojuegos para teléfonos móviles brindan una motivación a largo plazo a los pacientes para que puedan realizar ejercicios repetitivos, los cuales permiten preparar los músculos para un correcto control de la prótesis desde la comodidad de casa. Asimismo, los sensores de EMG se pueden utilizar no solo para ayudar a los investigadores clínicos a evaluar los músculos durante la práctica clínica y el entrenamiento muscular, sino también para facilitar la interacción entre humano-computadora (Prahm et al., 2018) (Khan et al., 2019).

Actualmente existen algunas aplicaciones móviles que se encuentran disponibles en la Play Store que brinda ayuda para realizar un entrenamiento muscular. Sin embargo, no cubren todas las necesidades del paciente. A continuación, se describe algunas de estas aplicaciones móviles:

- **Fitness para amputados**

Es una aplicación móvil que incluye una serie de ejercicios sencillos (figura 7), para personas con amputación de pierna y brazo y ha sido desarrollada por fisioterapeutas experimentados de Ottobock<sup>1</sup>. Esta aplicación es considerada como una guía habitual que proporciona la formación que necesita el paciente en un entorno único y se la puede utilizar hasta 6 meses después de la colocación de la prótesis. Una característica importante de esta aplicación es que luego de ser instalada en el dispositivo se puede utilizar sin necesidad de conexión a internet.

---

<sup>1</sup> [www.ottobock.com](http://www.ottobock.com)

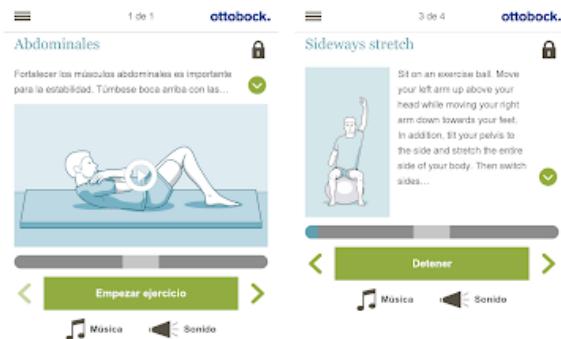


Figura 7. Aplicación Fitness para amputados.

Fuente: Recuperado de (Google Play, s. f.-a).

El módulo para la extremidad superior cuenta con 3 niveles de dificultad (fácil / normal / difícil) y contempla:

- Hombro: Ejercicios para fortalecer los músculos del brazo y del hombro.
- Tórso: Ejercicios para fortalecer los músculos abdominales y de la espalda, obteniendo mejor equilibrio, generando mayor estabilidad y seguridad en el manejo de la prótesis.

Las principales funciones y ventanas que tiene la aplicación son las siguientes:

- Selección de ejercicios: Completa un programa de entrenamiento preestablecido o crea tu propio programa de entrenamiento individual.
- Selección de música: Entrena con la música disponible en la aplicación o con la tuya propia.
- Función de estadística: Lleve un registro de su progreso y obtenga una visión general del número de ejercicios que ya ha realizado.
- Función de recordatorio: Deja que la aplicación te recuerde tu próxima sesión de entrenamiento. (Google Play, s. f.-a).

#### - **Rephsyio<sup>2</sup> - Rehabilitación y fisioterapia**

Es una aplicación móvil para realizar rehabilitación desde casa (figura 8); cuenta con más de mil ejercicios preparados por fisioterapeutas altamente calificados, razón por la cual cada ejercicio está diseñado cuidadosamente para niveles iniciales y avanzados. Para realizar los ejercicios la aplicación brinda instrucciones de cada ejercicio mediante videos.

<sup>2</sup> [www.eon46.com](http://www.eon46.com)

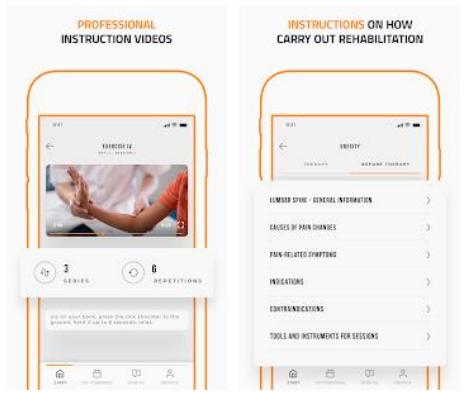


Figura 8. Aplicación Rephysio.

Fuente: Recuperado de (Google Play, s. f.-b).

Algunas de las características de la aplicación son:

- 14 categorías de rehabilitación, cada una con seguimiento de su estado
- Niveles de avance de la sesión
- Consultas y terapias individuales (chat en vivo con un fisioterapeuta)
- Información detallada sobre ejercicios
- Programa de ejercicio personalizado

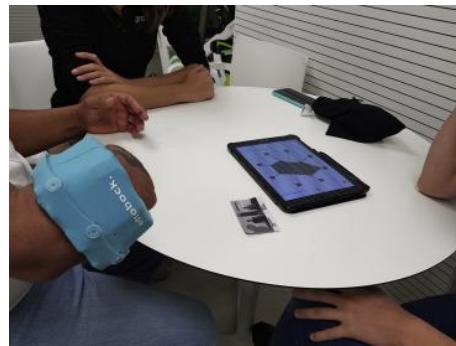
Algunas de las categorías básicas de rehabilitación son: miembros superiores, miembros inferiores, enfermedad de Parkinson, parálisis del nervio facial y espina lumbar; cada categoría se divide en conjuntos y a su vez en sesiones, y éstas cuentan con un nivel en específico. La aplicación cuenta con rastreo del progreso de rehabilitación del paciente y guarda automáticamente el último estado para que luego la aplicación inicie desde esa parte.

Cada ejercicio tiene una descripción detallada, que indica número de repeticiones y series. Además, cuenta con un recordatorio de la sesión lo que permite al paciente adaptar la aplicación a sus preferencias para realizar los ejercicios. (Google Play, s. f.-b)

#### - Myo Plus

La aplicación Myo Plus permite realizar entrenamientos con la prótesis incluida y brinda facilidad para configurar el control de la prótesis para los diferentes dispositivos terminales mioeléctricos. Asimismo, permite adaptar el control a las necesidades de cada paciente para evaluar los patrones de movimiento.

El sistema Myo Plus cuenta con un electromiógrafo de la misma marca de 8 canales (brazalete) (figura 9), los cuales ayudan a los pacientes a gestionar el control de la prótesis mediante el miembro fantasma logrando patrones de cierre, apertura y pronación-supinación de la mano en un tiempo más corto y fácil de lo habitual. También reduce el tiempo de rehabilitación, los viajes y costos innecesarios (Guirao Cano et al., 2020).



*Figura 9. Aplicación Myo Plus.*

*Fuente: Recuperado de (Guirao Cano et al., 2020).*

Las funciones principales que tiene la aplicación son:

- Creación de un conjunto básico para el usuario, es una funcionalidad para el profesional de O&P.
- Visualización de patrones de movimientos y adaptarlos a la situación de cada paciente.
- Reconocimiento de movimientos de la prótesis.
- Activación y desactivación de funciones.
- Ajuste de parámetros. (App Store, s. f.)

Proceso de rehabilitación:

- Sesión inicial.
- Evaluación de la sensación fantasma.
- Evaluación de los patrones del movimiento con la Myo Cuff.
- Entrenamiento y pruebas de patrones.
- Creación de un set básico.
- Entrenamiento con la prótesis. (Ottobock, 2020b)

Asimismo, existe varias propuestas de rehabilitación muscular mediante videojuegos para personas con amputación en el miembro superior que se encuentran en estado experimental. A continuación, se describe las propuestas más relevantes:

### - ADAPT-MP

Es un juego móvil y adaptable que permite enseñar a controlar las prótesis mioeléctricas a las personas con amputaciones. Sus principales características son:

- Es más económica
- Cuenta con varios sitios de activación y transferibilidad
- Es personalizable
- Funciona en una tableta Android con Bluetooth 4.0

Todos los juegos de ADAPT-MP permite a los pacientes entrenar la activación de los músculos mediante secuencias específicas y también controlar la magnitud y duración de cada activación, todo esto con el fin de preparar al paciente para actividades de la vida diaria. La activación muscular se captura mediante el brazalete de control de gestos Myo y esa información es enviada a través de una conexión Bluetooth a la aplicación móvil. (Design Interactive, s. f.)

En cada uno de los juegos el paciente debe activar y desactivar sus músculos para completar las tareas respectivas. ADAPT-MP cuenta con los siguientes cuatro juegos:

- *Volcanic Crush* entrena al paciente en el control básico y activación de la musculatura para el control de la prótesis.
- *Dino Sprint* se enfoca en la secuenciación y los patrones temporales de activación.
- *Dino Feast* y *Dino Claw* entran al paciente en el control de la aplicación de fuerza proporcional y la capacidad de mantener y aislar las contracciones musculares mientras mueven la extremidad en un espacio tridimensional (figura 10), similar a las actividades del entrenamiento de la vida diaria.

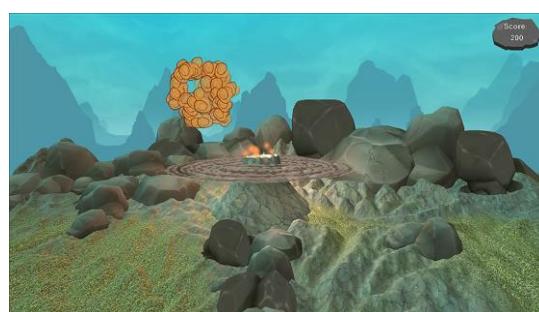


Figura 10. Interfaz de un juego de ADAPT-MP.

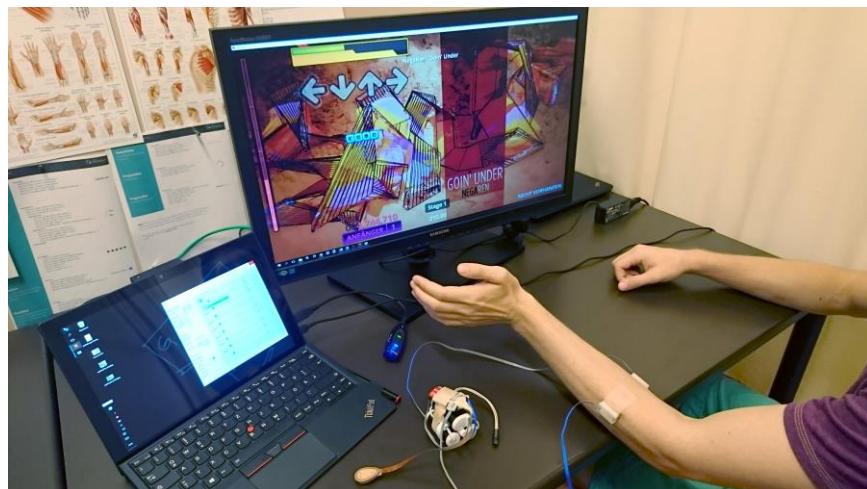
Fuente: Recuperado de (Design Interactive, s. f.).

Asimismo, ADAPT-MP permite el acceso de manera remota tanto para el paciente, el terapeuta ocasional y los miembros del equipo médico para obtener los datos de rendimiento del entrenamiento, permitiendo saber si el paciente está progresando en su entrenamiento; de igual manera tendrán acceso a las señales EMG sin procesar y rectificadas (Coldren et al., 2017).

- **Rehabilitación basada en juegos para el control de prótesis mioeléctricas**

Este estudio buscó evaluar los efectos a corto plazo sobre la capacidad de controlar una prótesis, para ello se realizó una rehabilitación mediante videojuegos con la ayuda de una interfaz entre un sistema de electrodos EMG y una computadora.

El protocolo experimental consistió en que los participantes estaban sentados frente a dos pantallas, la primera mostraba los datos de las señales EMG adquiridos mediante los electrodos y la segunda mostraba el juego que el participante estaba jugando. En la figura 11 se muestra, como la información captada por los electrodos es enviada mediante cable para la ejecución del juego. Los participantes tuvieron que realizar tres evaluaciones EMG: nivel de contracción voluntaria máxima provisional (MVC), precisión del control de los electrodos y resistencia muscular.



*Figura 11. Configuración experimental.*

*Fuente: Recuperado de (Prahm et al., 2017).*

Para esto, los participantes pudieron jugar con tres juegos de computadora diferentes y en orden aleatorio. Los juegos que se utilizaron son de código abierto: juego de carreras, juego de destreza y juego basado en el ritmo, cada uno cuenta con sus respectivos métodos de entrada y tipos de contracción muscular (figura 12). Para la entrada se utilizó un mecanismo que permitía sustituir las acciones del teclado con la

activación de las señales EMG, lo que hizo posible que los participantes mediante dos electrodos creen dos llaves simultáneas, logrando la generación de un grado de libertad (DoF). Asimismo, la contracción permitía la generación de más de una dirección de DoF (Prahm et al., 2017).

| Game   | Input Method  | Player Control                                     | Muscle Contractions                           |
|--|---------------|--|---|
| Racing Game ( <i>SuperTuxKart</i> )<br> | EMG           | Turn left, right                                   | Quick contraction, prolonged contraction      |
|  | Non-EMG hand  | Accelerating, braking                              | ---   |
| Rhythm Game ( <i>Step Mania 5</i> )<br> | EMG           | Activate arrows left, right                        | Quick contraction, prolonged contraction      |
|  | Cocontraction | Activate both arrows simultaneously                | Simultaneous contraction of flexor + extensor |
| Dexterity Game ( <i>Pospos</i> )<br>   | EMG           | Move left, right, up, down                         | Quick contraction, prolonged contraction      |
|  | Cocontraction | Switch control axis between left/right and up/down | Simultaneous contraction of flexor + extensor |

Figura 12. Descripción general de los tres juegos.

Fuente: Recuperado de (C Prahm et al., 2017).

#### - **MyoBeatz**<sup>3</sup>

“MyoBeatz es un juego de música basado en el ritmo para el entrenamiento de prótesis mioeléctricas. Los jugadores usan sus contracciones musculares como señal de entrada y controlan el juego como lo harían con una prótesis real” (PlayBionic, s. f.).

Esta aplicación móvil de rehabilitación es controlada por la señal muscular EMG del paciente, y para su uso se complementa con una tableta Lenovo con soporte para reproducir la aplicación. Las señales EMG son captadas mediante un brazalete de electrodos (Myo) y enviadas a través de Bluetooth a la aplicación (juego) durante el entrenamiento muscular (figura 13). Asimismo, cuenta con monitoreo remoto del progreso del paciente.

<sup>3</sup> [www.playbionic.org](http://www.playbionic.org)



*Figura 13. Aplicación Myo Armand.*

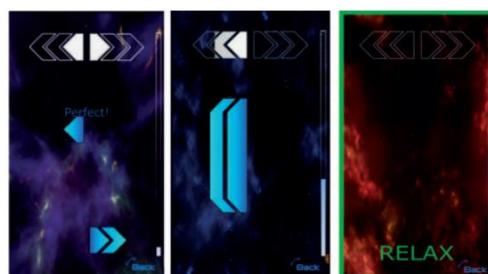
*Fuente: Recuperado de (Prahm et al., 2018).*

*Nota: El control de la aplicación fue realizado mediante 2 de los electrodos del Brazalete.*

Los parámetros evaluados fueron la fuerza de contracción máxima, la separación muscular, el control proporcional y la resistencia muscular, así como las estadísticas del usuario durante el uso de la aplicación, la cual cuenta con diferentes modos de juego. La aplicación tiene varios incentivos audiovisuales que permiten mantener al paciente motivado, así como también cuenta una pantalla para el bio-feedback en tiempo real.

El juego consiste en que el paciente debe contraer sus músculos al ritmo de una pieza musical y atrapar las flechas que aparecen desde abajo. Las diferentes fuerzas de contracción de los demás músculos del miembro superior generan tareas diversas. Las contracciones, es decir la tensión entre los músculos antagonistas permite entrenar el control de la prótesis permitiendo el cambio entre las distintas articulaciones protésicas, por ejemplo, de la mano abierta a la muñeca girada.

En la figura 14 se muestra, como los pacientes reciben información sobre su rendimiento a través del biofeedback que se muestra constantemente durante el juego, pero también a través de las puntuaciones obtenidas en los diferentes niveles (fácil, medio, difícil) y las estadísticas personalizadas de cada paciente (Prahm et al., 2018).



*Figura 14. Interfaz del BioFeedback de la aplicación "MyoBeatz".*

*Fuente: Recuperado de (Prahm et al., 2018).*

### - **Upbeat**

Es un juego de baile guiado por realidad aumentada (RA) para la rehabilitación protésica de amputados de miembros superiores (figura 15). Fue desarrollado con el motor de juegos 3D Unity, mediante el cual se integraron todos los sensores y software utilizados (Kinect, Myo, Miracle). Este sistema se basa en la guía de RA, reconocimiento de gestos y seguimiento del cuerpo, permitiendo al paciente realizar diferentes movimientos de baile con gestos que involucren las manos.



*Figura 15. Interfaz de Upbeat.*

*Fuente: Recuperado de (Melero et al., 2019).*

El proceso general del juego es el siguiente:

- Pantalla de bienvenida a Upbeat y tutorial/demo (calibración)
- Selección de la música y del nivel (fácil, medio, difícil)
- Pantalla de inicio del juego e interfaz del juego
- Puntuación y retroalimentación de la terapia

El juego está compuesto por tres escenas principales: selección de canción, juego y comentarios. En la esquina inferior derecha de la pantalla se indica el gesto de la mano que debe realizar el paciente. Los gestos son controlados mediante el brazalete Myo. Además, tiene indicadores para avisar al paciente si se realizó o no el gesto de manera correcta. Finalmente, el paciente puede ver un resumen visual de los datos recopilados durante el entrenamiento, asimismo los datos pueden ser enviados a un profesional para un análisis más minucioso (Melero et al., 2019).

### - **Diseño de un juego serio para el control de prótesis mioeléctricas**

Es un novedoso diseño de juego serio y se ayuda de la música para realizar la rehabilitación de pacientes con amputaciones mediante el control de las señales EMG.

La captura de las señales EMG y también el reconocimiento de gestos se lo hizo mediante el brazalete Myo, el cual a su vez se conecta a Windows a través de Bluetooth para enviar los datos al juego.

En la figura 16 se muestra, el juego rítmico que está inspirado en el juego llamado Osu, y consiste en que los pacientes deben seguir el ritmo de la música para lograr hacer clic en círculos, deslizadores y giradores, en este caso los pacientes deben hacer clic en diferentes frutas. Se realizó el reconocimiento de cinco poses diferentes, cada una representa una fruta. Todo esto se logró mediante el algoritmo del brazalete Myo.



*Figura 16. Captura de pantalla de la pantalla de selección de dificultad del juego.*

*Fuente: Recuperado de (Bessa et al., 2020).*

El entrenamiento mediante el juego se basó en diferentes ritmos de canciones, en la figura 17 se observa un ejemplo del juego. Cada canción tenía su propio mapa de ritmo (tiempos, lugares y tipos de objetos de juego) y además contaba con cinco niveles y cada nivel tenía diferentes poses, entre una a cinco poses. La finalidad del juego fue que los pacientes logren cumplir correctamente las acciones de entrenamiento en el tiempo establecido y de acuerdo con el ritmo de la canción de fondo.



*Figura 17. Captura de pantalla del juego.*

*Fuente: Recuperado de (Bessa et al., 2020).*

Las vibraciones y puntuaciones permitieron dar una retroalimentación positiva, para esto se creó dos niveles de vibración diferentes que permitieron diferenciar las poses correctamente cronometradas de las poses tempranas. La sincronización de la postura

y, en el caso del deslizador, del tiempo que el paciente mantenía la postura fue lo que sirvió para establecer una determinada puntuación (Bessa et al., 2020).

A continuación, en la tabla 1 se presenta una comparación a modo de resumen de las diferentes características de los trabajos presentados:

Tabla 1. Resumen de las características de los trabajos presentados.

| Características   | Trabajos | Fitness para amputados | Rephysio | Myo Plus | ADAPT-MP | Rehabilitación con juegos (A) | MyoBeatz | Upbeat | Juego serio (B) |
|---|----------|------------------------|----------|----------|----------|-------------------------------|----------|--------|-----------------|
| App móvil   |          |                        |          |          |          |                               |          |        |                 |
| Entrenamiento mediante videojuegos                                  |          |                        |          |          |          |                               |          |        |                 |
| Variedad de niveles de los ejercicios                               |          |                        |          |          |          |                               |          |        |                 |
| Variedad de escenarios de los videojuegos                           |          |                        |          |          |          |                               |          |        |                 |
| Dispositivo externo para capturar señales EMG                       |          |                        |          |          |          |                               |          |        |                 |
| Comunicación Bluetooth  |          |                        |          |          |          |                               |          |        |                 |
| Entrenamiento de todo el miembro superior                           |          |                        |          |          |          |                               |          |        |                 |
| Monitoreo y evaluación en tiempo real del paciente de manera remota |          |                        |          |          |          |                               |          |        |                 |
| Evaluación y análisis de señales EMG mediante ML y redes neuronales |          |                        |          |          |          |                               |          |        |                 |
| Valoración mediante telemedicina                                    |          |                        |          |          |          |                               |          |        |                 |
| Retroalimentación visual durante el entrenamiento del paciente      |          |                        |          |          |          |                               |          |        |                 |
| Es comercial  |          |                        |          |          |          |                               |          |        |                 |
| Funciona sin conexión a internet                                    |          |                        |          |          |          |                               |          |        |                 |

Fuente: Elaboración propia.

Nota 1: A = Rehabilitación basada en juegos para el control de prótesis mioeléctricas y B = Diseño de un juego serio para el control de prótesis mioeléctricas.

Nota 2: El color gris representa que las soluciones descritas sí cuentan con dicha característica y el color blanco representa que no tienen esa característica.

En conclusión, las soluciones actuales tanto comerciales como experimentales son muy buenas, pero carecen de una retroalimentación visual durante el entrenamiento del paciente, lo cual es muy importante para mejorar el proceso de rehabilitación. Además, la mayoría de las soluciones requieren de conexión a internet para realizar el entrenamiento, y esto se convierte en una limitante para muchas personas que no cuentan siempre con internet. Asimismo, casi ninguna solución cuenta con una valoración mediante telemedicina, ocasionando que muchos pacientes realicen esfuerzos en cuanto a tiempo y costos para efectuar su rehabilitación. Finalmente, ninguna posee una evaluación y análisis de las señales EMG mediante *Machine Learning*, *Big Data* y redes neuronales, lo que permite un entrenamiento más personalizado, según las necesidades del paciente.

### 2.2.2 Tipos de sensores que permiten captar señales EMG

A continuación, se describe los diferentes tipos de sensores para captar señales EMG que actualmente existen en el mercado:

- **Brazalete Myo**

El brazalete de control de gestos Myo es un brazalete de sensor EMG desarrollado por Thalmic Labs<sup>4</sup>; está equipado con ocho sensores EMG de superficie (SEMG) que recogen datos de la actividad eléctrica mediante una unidad de medición inercial (IMU) con un acelerómetro, un giroscopio y un magnetómetro (figura 18). Las señales EMG se procesan mediante un algoritmo de reconocimiento de patrones capaz de reconocer cinco posturas diferentes.



Figura 18. Brazalete Myo.

Fuente: Recuperado de (Bessa et al., 2020).

Este brazalete capta las EMG a mayor velocidad y con menor error de precisión. Además, cuenta con un enfoque simplificado, es fácil de colocarlo y funciona de manera inalámbrica. Asimismo, su facilidad de uso lo convierte en una gran herramienta para el entrenamiento en casa, razón por la cual ha sido utilizado en múltiples juegos dirigidos para la rehabilitación.

<sup>4</sup> [www.developerblog.myo.com](http://www.developerblog.myo.com)

Myo cuenta con la aplicación *Myo Connect* que también es proporcionada por Thalmic Labs y sirve para gestionar y conectar el brazalete, con la opción de calibrar un perfil basado en los movimientos seleccionados por el usuario; y pese a que la producción y el soporte de Myo se han detenido desde 2018, el kit de desarrollo de software (SDK) proporcionado por Thalmic Labs sigue funcionando plenamente para Windows, macOS, iOS, Android y Unity (Bessa et al., 2020).

- **DueLite**

DueLite es un dispositivo de EMG portátil diseñado para suplir las necesidades en diferentes aplicaciones, incluido deportes, ergonomía y rehabilitación (figura 19). Este dispositivo registra 2 señales EMG utilizando la sonda Due y se puede actualizar agregando sondas Due adicionales hasta un máximo de 7 sondas, además permite habilitar el monitoreo web RMS. DueLite funciona con PC con llave USB y con tableta y teléfono inteligente mediante comunicación directa a través de Bluetooth. Así mismo, cabe destacar que DueLite permite que los usuarios puedan realizar la adquisición, visualización y procesamiento de datos utilizando el software OTBioLab de manera gratuita, *scripts* de Matlab y aplicaciones de Android.



Figura 19. Dispositivo de sensorizado EMG DueLite.

Fuente: Recuperado de (OT Bioelettronica SRL, s. f.).

DueLite es utilizado para intervenciones terapéuticas, ya que cuenta con biorretroalimentación y también para realizar el monitoreo del progreso de la rehabilitación, por ejemplo, el grado de tensión muscular. Es un dispositivo pequeño, fácil de usar y cómodo que se puede adaptar con facilidad a cualquier área del miembro superior para captar las señales EMG, lo que permite entrenar diferentes tipos de movimientos tanto en la articulación del codo, así como del hombro. Las medidas del DueLite son: diámetro 47 mm y espesor 11 mm. Además, cuenta con varios accesorios extras, tales como: adaptadores y electrodos (figura 20) (OT Bioelettronica SRL, s. f.).



Figura 20. Ejemplo de colocación del DueLite.

Fuente: Recuperado de (OT Bioelettronica SRL, s. f.).

#### - **MyoWare**

Es un sensor que mide la activación muscular a través de las EMG y ha sido desarrollado por Advancer Technologies<sup>5</sup> (figura 21). Para su funcionamiento es indispensable el uso de una placa Arduino, lo que permite filtrar y rectificar las señales captadas.



Figura 21. Sensor muscular MyoWare.

Fuente: Recuperado de (SANDOROBOTICS, s. f.).

El sensor muscular MyoWare tiene un diseño portátil lo que facilita la captura de las EMG; también cuenta con varios accesorios tales como, *Led Shield*, *Proto Shield*, *Power Shield* y *Cable Shield*, estos son fáciles de adherirse al sensor y su función principal es permitir el aumento de la versatilidad y funcionalidad del *Myo Ware*. Sin embargo, una de sus limitantes más importante es que no cuenta con comunicación Bluetooth.

#### Características:

- Diseño portátil
- Ampliable a través de Escudos

<sup>5</sup> [www.advancertechnologies.com](http://www.advancertechnologies.com)

- Especialmente diseñado para microcontroladores
- Dimensiones: 0,82“ x 2,06” (SANDOROBOTICS, s. f.)

En conclusión, los tres sensores descritos anteriormente son muy buenos para medir las EMG obtenidas de la activación muscular. Sin embargo, algunos carecen de ciertas características esenciales para este proyecto, las cuales se describen a continuación:

- El tamaño del sensor debe ser pequeño y también debe tener un diseño adecuado que facilite la colocación en cualquier área de la extremidad superior y otras partes del cuerpo permitiendo entrenar más movimientos de las diferentes articulaciones de la extremidad superior.
- El sensor debe tener comunicación Bluetooth para facilitar el envío de las señales EMG a la aplicación móvil, para que funcione perfectamente en Tablet, Smartphone y PC.
- El dispositivo de sensorizado debe contar con un mínimo de dos canales, mismos que son suficientes para el entrenamiento muscular. Sin embargo, es preferible que se pueda añadir más canales en caso de ser necesario.
- El sensor debe permitir la adquisición, visualización y procesamiento de las señales EMG, para que la empresa o cliente que adquiera este sensor pueda utilizar dichos datos y/o información e integrarla en un nuevo software o aplicación.

Teniendo en cuenta toda la información sobre los diferentes sensores, el único que reúne todas las características descritas previamente es el sensor DueLite, por lo tanto, será el que se utilizará para el desarrollo de este proyecto.

### 3 Objetivos y metodología de trabajo

En este capítulo se indica los objetivos propuestos para el desarrollo del proyecto, una breve descripción explicando en qué consiste el proyecto, así como también la metodología de gestión y desarrollo que se empleará en el proyecto.

#### 3.1 Objetivo general y específicos

##### Objetivo General

El objetivo general del proyecto es brindar una rehabilitación completa y accesible a personas con amputación a nivel transradial mediante una aplicación móvil de monitoreo, evaluación y análisis utilizando videojuegos, permitiendo que las personas consigan un mayor control para el uso de prótesis mioeléctricas.

##### Objetivos específicos

- Establecer el protocolo del entrenamiento muscular en la etapa pre-protésica mediante la definición de diferentes parámetros para la preparación del paciente en el manejo correcto de una prótesis mioeléctrica.
- Desarrollar la interfaz visual de la aplicación mediante el diseño de formularios que permita el ingreso de datos importantes para el registro y la evaluación del entrenamiento del paciente.
- Desarrollar los videojuegos de cada movimiento y nivel del entrenamiento del paciente mediante el diseño de escenarios creativos e interactivos para una rehabilitación más integral.
- Analizar la información del paciente mediante una red neuronal, *Maching Learning* y *Big Data* para la predicción de los valores de cada parámetro del entrenamiento muscular.
- Establecer la conexión entre el dispositivo de sensorizado y la aplicación mediante comunicación por bluetooth para la activación del videojuego con las señales EMG.
- Integrar, evaluar y validar todos los componentes de la aplicación mediante un número de pruebas establecidas para la obtención de la aplicación de rehabilitación muscular del miembro superior.

#### 3.2 Descripción del proyecto

El proyecto consiste en desarrollar una aplicación móvil que permita realizar entrenamiento muscular a personas con amputación transradial mediante videojuegos utilizando señales EMG captadas a través de un dispositivo de sensorizado, éste tiene la función de captar las

EMG y mediante comunicación Bluetooth enviarlas a la aplicación para que luego de ser analizadas éstas permitan la activación de los videojuegos, es decir, la rehabilitación muscular para el correcto uso de una prótesis mioeléctrica.

El diseño de la aplicación móvil está dividido en tres secciones (figura 22):

- Ingreso de datos del usuario.
- Selección de parámetros para el entrenamiento.
- Videojuegos.

Esta aplicación permite realizar el entrenamiento de ocho movimientos relacionados a la articulación del codo y hombro: flexión de codo, extensión de codo, flexión de hombro, extensión de hombro, abducción de hombro, aducción de hombro, supinación, pronación y entrenamiento funcional, debido a que éstos son los movimientos necesarios para que la extremidad superior sea funcional, permitiéndole al paciente realizar sus actividades diarias mediante la prótesis mioeléctrica y a su vez cada movimiento contará con tres niveles de entrenamiento: básico, intermedio y avanzado.

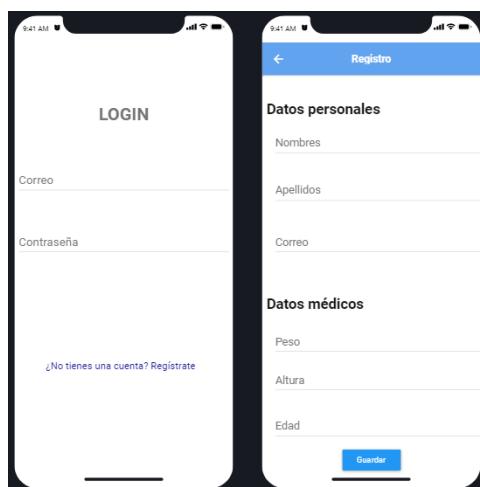


Figura 22. Interfaz visual de registro e ingreso de datos del paciente.

Fuente: Elaboración propia.

Cada uno de los movimientos que son parte del entrenamiento tendrán un escenario diferente, acompañado de mensajes de retroalimentación que aparecerán durante el entrenamiento con los videojuegos, generando mayor interacción y dinamismo (figura 23). Esto permite que el paciente tenga cierta variedad de videojuegos interactivos para realizar su entrenamiento pre-protésico, mismo que se ejecutará en cuatro fases: inicial, intermedia, final e implementación (entrenamiento con la prótesis mioeléctrica) mediante la realización de varias sesiones de acuerdo con los datos médicos ingresados por el fisioterapeuta, esto previo a un análisis realizado mediante una red neuronal, un algoritmo de *Machine Learning* y *Big Data*.

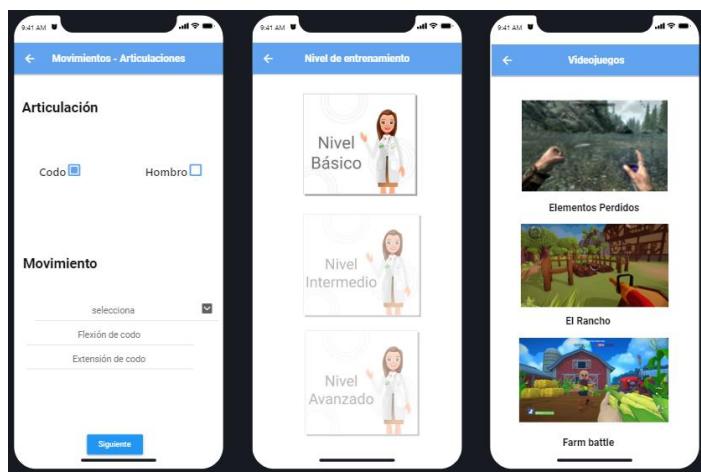


Figura 23. Interfaz visual de la aplicación móvil para entrenamiento muscular.

Fuente: Elaboración propia.

La primera sesión será un *test* para identificar desde qué nivel debe empezar el paciente a realizar su entrenamiento, éste debe ser realizado con la ayuda de un fisioterapeuta; para ello la aplicación realizará una validación mediante un código de acceso que asegure que la persona que está ingresando tanto los datos médicos iniciales, así como también los datos del *test* sea un profesional y de esta manera corroborar que los datos sean los correctos.

La actualización de los datos médicos generados por el paciente durante las siguientes sesiones de entrenamiento permitirá a la aplicación ir desbloqueando los demás niveles de los videojuegos. Por consiguiente, la aplicación permitirá que el paciente realice la rehabilitación muscular de manera autónoma y desde casa, con un entrenamiento personalizado considerando las necesidades de cada paciente, ya que cuenta con un sistema de monitoreo que permite indicar el progreso del paciente y el avance a los siguientes niveles de acuerdo con el nivel de fuerza y resistencia adquirido en cada sesión.

Por otra parte, el dispositivo de sensorizado se encargará de la adquisición de las EMG y para esto el dispositivo cuenta con dos canales, éstos deben estar colocados en los músculos correspondientes al movimiento a entrenar; mediante electrodos adheridos a la piel, es decir, electrodos de superficie, permitiendo medir el proceso de contracción y relajación del músculo.

Los datos recolectados por el dispositivo de sensorizado son enviados mediante comunicación Bluetooth hacia la aplicación, con la finalidad de activar las acciones del videojuego, tales como, caminar, saltar, correr, etc., y para ello primero es necesario procesar los datos enviados, esto se lo realiza mediante el sistema de análisis de la aplicación, el cual consiste en realizar el tratamiento de las EMG, es decir, realizar procesos de filtración, rectificación, normalización, etc., para que luego sean analizados mediante una red neuronal, un algoritmo de *Maching Learning* y *Big Data*.

Es por ello, que es necesario realizar un entrenamiento previo de la red neuronal utilizando datos médicos relacionados con los tipos de movimientos considerados en la aplicación. La red neuronal indicará los parámetros para cada sesión de entrenamiento, tales como, número de series, número de repeticiones, tiempo de contracción y tiempo de relajación del músculo.

Por su parte el algoritmo de *Maching Learning y Big Data* predecirá la cantidad de fuerza que debe ejercer el paciente de acuerdo con cada sesión que vaya avanzando, todo este proceso se realizará cuando la aplicación trabaje de manera online (figura 24), mientras que de manera offline la aplicación contará con un motor de análisis interno que permitirá generar las mismas indicaciones necesarias para el entrenamiento hasta que el paciente se conecte nuevamente a internet. Todas estas indicaciones se verán reflejadas en la aplicación previo al entrenamiento, y una vez realizada la verificación de conectividad entre el sensor y la aplicación el paciente podrá realizar su entrenamiento mediante los videojuegos.

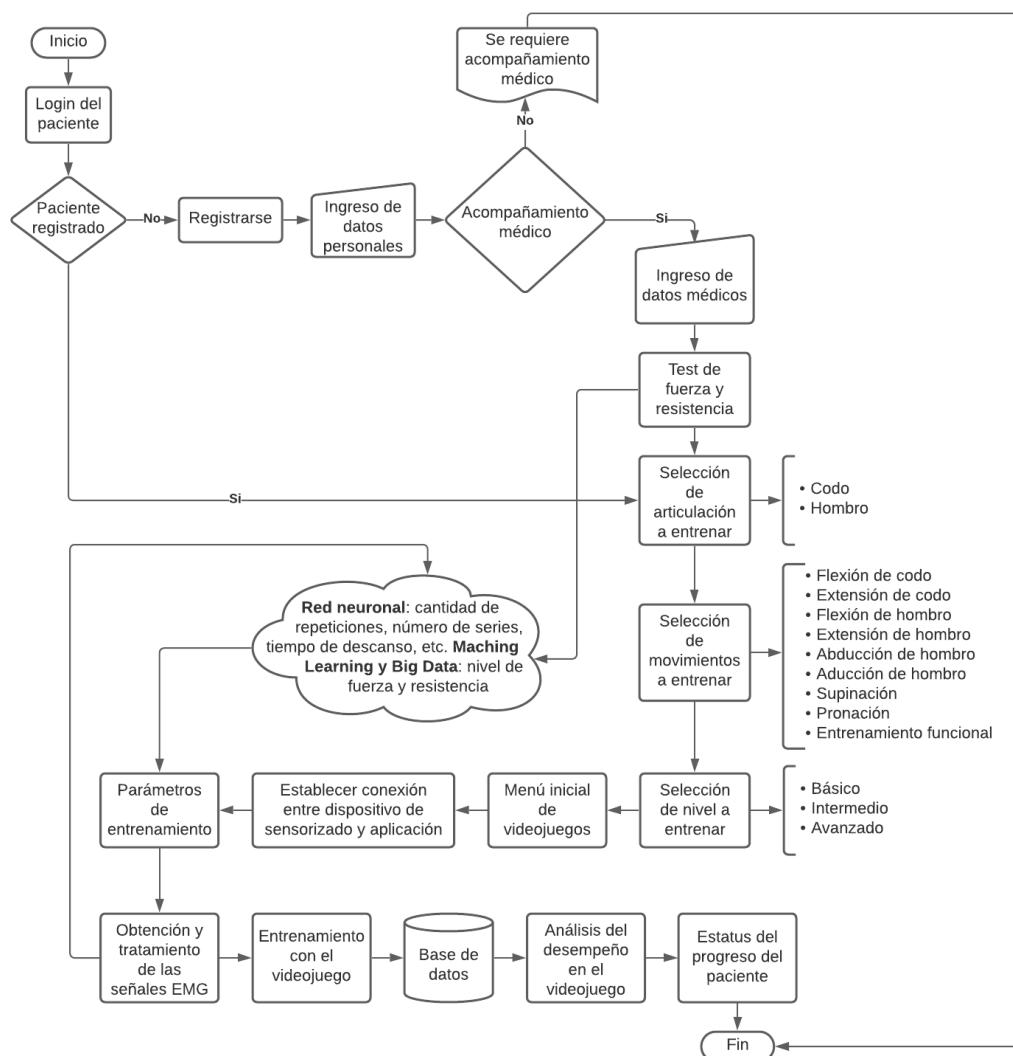


Figura 24. Diagrama de funcionamiento del proyecto.

Fuente: Elaboración propia.

Además, la aplicación cuenta con una base de datos, en donde consta toda la información y los datos de las diferentes sesiones realizadas por el paciente, estos datos permiten indicar y visualizar el avance general en la rehabilitación a nivel de fuerza y resistencia, los cuales serán mostrados a modo de resumen mediante gráficas en un área de *status* dentro de la aplicación para que el paciente esté al tanto de su progreso.

Asimismo, los datos serán enviados a su fisioterapeuta con la finalidad de llevar una telerehabilitación, permitiendo que este informado de los avances del paciente y de acuerdo a eso él pueda establecer unas sesiones de control presenciales, estas pueden ser cada tres meses o dependiendo de las necesidades del paciente, las mismas que permitirán evaluar la mejoría del paciente gracias al uso de la aplicación durante cada una de las fases del entrenamiento muscular y finalmente determinar si el paciente ya está listo para usar una prótesis mioeléctrica (figura 25).

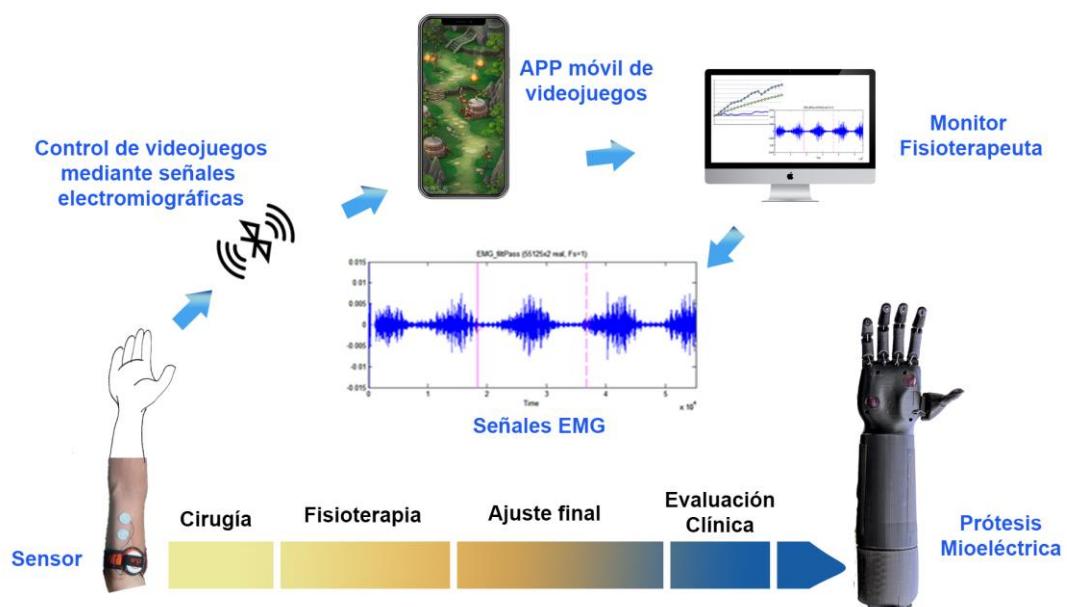


Figura 25. Diagrama general del proyecto.

Fuente: Elaboración propia.

La aplicación móvil descrita anteriormente ayuda a cubrir la necesidad de realizar un tratamiento pre-protésico, el cual es indispensable para la colocación y uso correcto de una prótesis mioeléctrica. Las principales características que se pueden destacar de la aplicación es que permite realizar el entrenamiento muscular a cualquier hora y en cualquier lugar de manera online u offline, realiza un monitoreo y evaluación en tiempo real mediante *Maching Learning, Big Data* y redes neuronales; genera mayor autonomía por parte del paciente, ya que cuenta con telerehabilitación, adquiere las EMG de manera eficaz e inalámbrica mediante un sensor que es fácil de usar, colocar y transportar.

Dentro de este marco, es importante destacar que esta aplicación móvil generaría un gran impacto a nivel emocional, económico, social y tecnológico. A continuación, se describe cada uno de ellos:

- Impacto a nivel emocional: La aplicación permite que los pacientes obtengan mayor motivación al realizar los entrenamientos ya que éstos son mediante videojuegos, permitiendo una interacción más dinámica para la rehabilitación muscular.
- Impacto a nivel económico: La aplicación permite ahorrar costos de movilización entre el domicilio del paciente y el centro de rehabilitación física y también disminuir los costos que se generan en cada sesión presencial de entrenamiento muscular.
- Impacto a nivel social: La aplicación ayuda a las personas amputadas a prepararse para poder usar una prótesis mioeléctrica en el menor tiempo posible, logrando que puedan incorporarse a la sociedad llevando una vida normal y cotidiana. Además, es un soporte para los profesionales de la rehabilitación física.
- Impacto a nivel tecnológico: La aplicación brinda un avance en el desarrollo de aplicaciones médicas, específicamente en la rehabilitación física ya que permite un monitoreo autónomo e inteligente del progreso del paciente, debido a que este proceso se lo realiza mediante el uso de las redes neuronales, *Maching Learning y Big Data*.

### 3.3 Metodología de trabajo

La metodología de un proyecto es un área de conocimiento responsable del desarrollo, definición y sistematización de un conjunto de métodos, técnicas y procedimientos que deben ser aplicados en el desarrollo del proyecto, con la finalidad de obtener un producto o servicio. Por lo tanto, el uso de una metodología de gestión de un proyecto facilita la organización de los pasos a seguir para la ejecución de un determinado proyecto (UNIR, 2020). A continuación, se describe la metodología de planificación y el proceso de desarrollo del proyecto:

#### 3.3.1 Planificación del proyecto

Actualmente existen diferentes metodologías de gestión de proyectos que se aplican de acuerdo con el proyecto en cuestión, éstas pueden ser clásicas o ágiles. Para la planificación de este proyecto en concreto y debido a su naturaleza se ha decidido aplicar un enfoque híbrido, puesto que para la gestión del proyecto, es decir la metodología de gestión, se utilizará las buenas prácticas descritas en la guía de los fundamentos para la dirección de proyectos (Guía del PMBOK 6ta edición) y para el desarrollo de la aplicación móvil, es decir la metodología de desarrollo, se utilizará los procedimientos establecidos en la metodología SCRUM, con la finalidad de alcanzar los objetivos propuestos y de incluir todas las áreas de

conocimiento; y cada uno de los ciclos incrementales y funcionales que se llevarán a cabo en la etapa de desarrollo de la aplicación móvil. A continuación, se describe cada una de ellas:

### Metodología de gestión

La Guía del PMBOK se fundamenta en buenas prácticas y conocimientos que son aplicables a la mayoría de los proyectos, los cuales se configuran dentro de un ciclo de vida genérico, existiendo un consenso sobre su utilidad y valor (figura 26). Además, permite aplicar conocimientos, habilidades, herramientas y técnicas al proceso de dirección y desarrollo del proyecto logrando aumentar la posibilidad de su éxito, obteniendo los resultados esperados (PMI, 2017). Por lo tanto, esta guía ayuda a disminuir los riesgos, mejorar los costos y plazos de entrega, en sí la organización del equipo de trabajo.

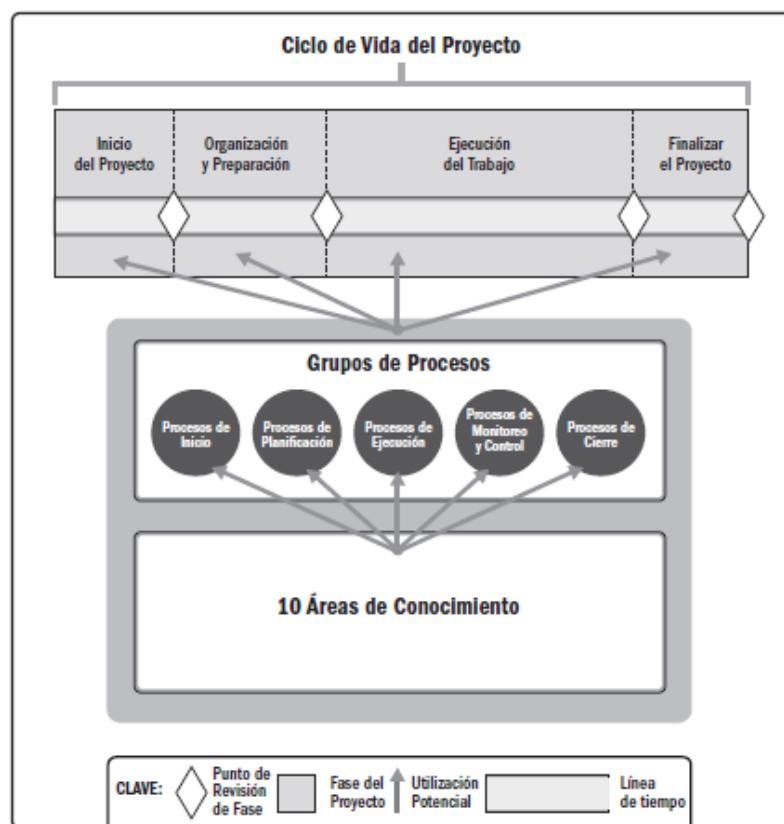


Figura 26. Componentes clave de los proyectos de la Guía del PMBOK.

Fuente: Recuperado de (PMI, 2017).

### Metodología de desarrollo

La metodología de trabajo ágil, SCRUM, se utiliza en equipos que manejan proyectos complejos y que impliquen desarrollo de software, su ventaja principal es que entrega valor en periodos cortos de tiempo y para ello se ayuda de tres pilares fundamentales: la adaptación, la inspección y la transparencia; permitiendo la flexibilidad en la adopción de

cambios mediante el desarrollo iterativo e incremental (*sprint*) para asegurar excelentes resultados (Abellán, 2020) (figura 27). Por lo tanto, esta metodología es la idónea para el desarrollo de la aplicación móvil, pues es fácil de aplicar y permite hacer cambios hasta obtener un producto de calidad.

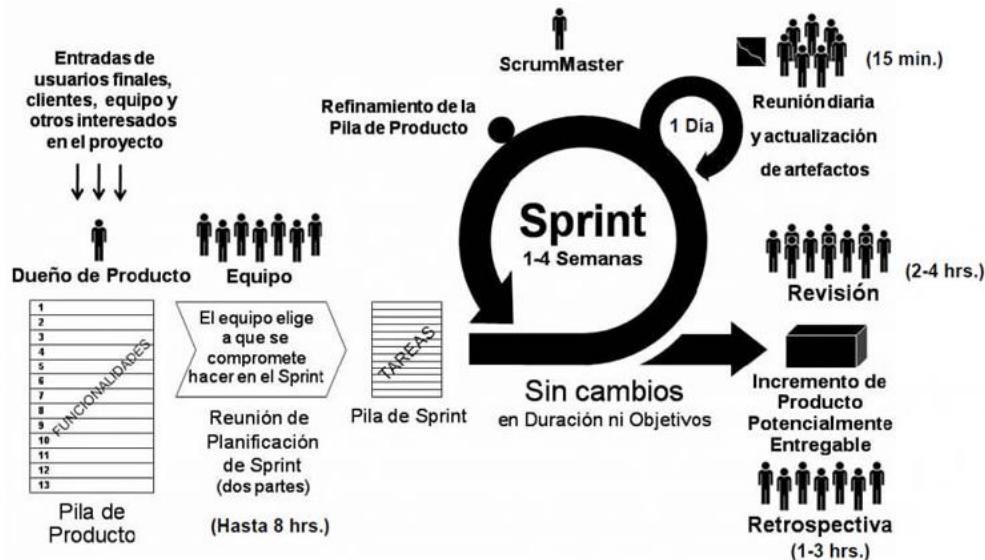


Figura 27. Proceso de la metodología SCRUM.

Fuente: Recuperado de (Antevenio, 2020).

En conclusión, el enfoque híbrido es la mejor opción para este proyecto, puesto que es un proyecto tecnológico y complejo. Además, teniendo en cuenta que tanto la guía del PMBOK, así como también la metodología SCRUM se complementan de manera correcta, lo que permite la mejora continua de los procesos hasta obtener un producto eficiente, en este caso la aplicación móvil para rehabilitación muscular. A continuación, en la figura 28 se describe de manera general y gráficamente la metodología a utilizar en el proyecto:

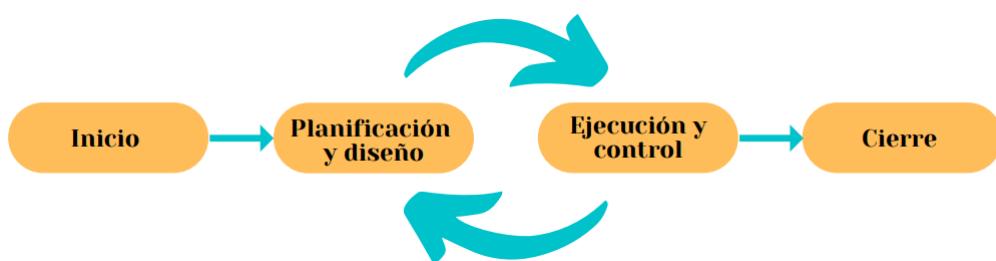


Figura 28. Metodología de trabajo.

Fuente: Elaboración propia.

Por consiguiente, el proceso iterativo e incremental se aplicará únicamente en el desarrollo de la interfaz visual de la aplicación y en el desarrollo de los videojuegos mediante el *sprint*,

que es un bloque de tiempo y a su vez es el corazón de la metodología SCRUM (Schwaber & Sutherland, 2013). Para ello, en cada *sprint* se debe tener en cuenta las siguientes fases:

- Reunión de planificación del *Sprint*.
- Scrums diarios.
- Desarrollo del *Sprint*.
- Revisión del *Sprint*.
- Retrospectiva del *Sprint* (Pérez, 2021).

Para el desarrollo tanto de la interfaz visual de la aplicación, así como también de los videojuegos se ha definido que los *sprint* serán cada dos semanas. Por lo tanto, el desarrollo de la interfaz visual de la aplicación tendrá 4 *sprint* (tabla 2) y el desarrollo de los videojuegos tendrá 8 *sprint* (tabla 3).

Tabla 2. *Sprint para el desarrollo de la interfaz visual de la aplicación.*

| DESARROLLO DE LA INTERFAZ VISUAL DE LA APLICACIÓN |  |
|---|--|
| <i>Sprint 1</i>                                   | Diseño y desarrollo de la funcionalidad: ventana inicial y de inicio de sesión.                                    |
| <i>Sprint 2</i>                                   | Diseño y desarrollo de la funcionalidad: ventana de registro de usuario y selección de la articulación a entrenar. |
| <i>Sprint 3</i>                                   | Diseño y desarrollo de la funcionalidad: ventana de selección del tipo de movimiento y nivel entrenar.             |
| <i>Sprint 4</i>                                   | Diseño y desarrollo de la funcionalidad: ventana de estatus.   |

Fuente: *Elaboración propia.*

Tabla 3. *Sprint para el desarrollo de los videojuegos.*

| DESARROLLO DE LOS VIDEOJUEGOS |  |
|-------------------------------|--|
| <i>Sprint 1</i>               | Diseño y desarrollo de la funcionalidad: videojuego (nivel: básico, intermedio y avanzado) para el entrenamiento del movimiento de flexión de codo.            |
| <i>Sprint 2</i>               | Diseño y desarrollo de la funcionalidad: videojuego (nivel: básico, intermedio y avanzado) para el entrenamiento del movimiento de extensión de codo.          |
| <i>Sprint 3</i>               | Diseño y desarrollo de la funcionalidad: videojuego (nivel: básico, intermedio y avanzado) para el entrenamiento del movimiento de flexión de hombro.          |
| <i>Sprint 4</i>               | Diseño y desarrollo de la funcionalidad: videojuego (nivel: básico, intermedio y avanzado) para el entrenamiento del movimiento de extensión de hombro.        |
| <i>Sprint 5</i>               | Diseño y desarrollo de la funcionalidad: videojuego (nivel: básico, intermedio y avanzado) para el entrenamiento del movimiento de abducción de hombro.        |
| <i>Sprint 6</i>               | Diseño y desarrollo de la funcionalidad: videojuego (nivel: básico, intermedio y avanzado) para el entrenamiento del movimiento de aducción de hombro.         |
| <i>Sprint 7</i>               | Diseño y desarrollo de la funcionalidad: videojuego (nivel: básico, intermedio y avanzado) para el entrenamiento de los movimientos de supinación y pronación. |
| <i>Sprint 8</i>               | Diseño y desarrollo de la funcionalidad: videojuego (nivel: básico, intermedio y avanzado) para el entrenamiento funcional del miembro superior.               |

Fuente: *Elaboración propia.*

### 3.3.2 Proceso de desarrollo del proyecto

El desarrollo del proyecto se realizará mediante las siguientes tecnologías y herramientas, que a continuación se describe:

La aplicación móvil se desarrollará según el modelo vista controlador (MVC), que permite establecer la arquitectura del software, el cual se encarga de separar los datos de la aplicación, la interfaz de usuario y la lógica de control (Sommerville, 2011). Dentro del desarrollo de la aplicación móvil existen dos aspectos importantes a tener en cuenta, los cuales son: *back-end* y *front-end*.

Para el *back-end* (desarrollo del código de la aplicación) se utilizará el lenguaje de programación java 8, ya que es fiable, rápido, seguro y sobre todo es el lenguaje más utilizado en aplicaciones y sitios web (Java, s. f.), mediante el IDE Android Studio puesto que cuenta con editores de diseño visual y un emulador rápido lo que permite simular configuraciones y funciones de una manera sencilla. Asimismo cuenta con un editor de código inteligente que permite optimizar el trabajo y con un analizador de APK que ayuda a reducir el tamaño de la aplicación (developers, s. f.).

Por otra parte, para el *front-end* (desarrollo de la interfaz visual de la aplicación) se utilizará angular 6 debido a que permite crear aplicaciones para cualquier objetivo de implementación, controlar la escalabilidad de la infraestructura y satisfacer requerimientos enormes de data (Angular, 2021), mediante el IDE Visual Studio Code ya que es un editor de código fuente ligero pero muy potente, lo que facilita los tiempos de ejecución para Unity y está disponible tanto para Windows así como también para macOS y Linux permitiendo desarrollar la aplicación para iOS y Android (Rieken, 2021).

Los videojuegos para el entrenamiento muscular serán desarrollados mediante la plataforma Unity, ya que permite crear videojuegos 3D interactivos en tiempo real, con gráficas y animaciones de alta calidad. Además, cuenta con una enorme variedad de herramientas y elementos que permiten crear cualquier tipo de ambiente para obtener videojuegos asombrosos y originales; y sobre todo estos videojuegos pueden ser implementados en iOS y Android (Unity, 2021).

La integración entre la aplicación móvil y los videojuegos se realizará mediante la API de servicios REST, debido a que facilita la comunicación y el cumplimiento del requerimiento de inicializar el videojuego de acuerdo con la articulación, movimiento y nivel a entrenar (RedHat, 2021). Asimismo, para el control del versionado del código se realizará mediante el sistema

git<sup>6</sup>, mientras que su almacenamiento será en el hosting Gitlab<sup>7</sup>, ya que es una aplicación colaborativa y abierta permitiendo un desarrollo mucho más eficiente y rápido; y para su respectivo manejo se lo efectuará mediante el cliente SmartGit<sup>8</sup>.

Los videojuegos se almacenarán en la base de datos *SQLite*<sup>9</sup> mediante el software *DB Browser for SQLite*<sup>10</sup> mientras que para la aplicación en general se utilizará *MySQL*<sup>11</sup> mediante el software *MySQL Workbench*<sup>12</sup>. Finalmente, para el alojamiento de los datos personales y médicos del paciente y el proceso de análisis de éstos se utilizará el servidor externo *Azure* de *Microsoft*<sup>13</sup>, ya que permite ejecutar y administrar la aplicación en la nube. Asimismo, para el análisis de los datos se utilizará una red neuronal mediante la librería *keras*<sup>14</sup>, un algoritmo de Maching Learning mediante la librería *scikit-learn*<sup>15</sup> y *Big Data* mediante las librerías *pandas*<sup>16</sup>, *numpy*<sup>17</sup> y *matplotlib*<sup>18</sup>; todo esto utilizando el lenguaje de programación *Python*.

---

<sup>6</sup> [www.git-scm.com](http://www.git-scm.com)

<sup>7</sup> [www.gitlab.com](http://www.gitlab.com)

<sup>8</sup> [www.syntevo.com/smartgit](http://www.syntevo.com/smartgit)

<sup>9</sup> [www.sqlite.org](http://www.sqlite.org)

<sup>10</sup> [www.sqlitebrowser.org](http://www.sqlitebrowser.org)

<sup>11</sup> [www.mysql.com](http://www.mysql.com)

<sup>12</sup> [www.mysql.com/products/workbench](http://www.mysql.com/products/workbench)

<sup>13</sup> [www.azure.microsoft.com](http://www.azure.microsoft.com)

<sup>14</sup> [www.keras.io](http://www.keras.io)

<sup>15</sup> [www.scikit-learn.org](http://www.scikit-learn.org)

<sup>16</sup> [pandas.pydata.org](http://pandas.pydata.org)

<sup>17</sup> [www.numpy.org](http://www.numpy.org)

<sup>18</sup> [www.matplotlib.org](http://www.matplotlib.org)

## 4 Desarrollo específico de la contribución

En este capítulo se desarrollará la planificación de la App de rehabilitación muscular para amputación transradial, incluyendo un plan de calidad y gestión de riesgos para el aseguramiento del cumplimiento de los objetivos y llegar a la culminación exitosa del proyecto.

### 4.1 Perfiles de trabajo

Para el desarrollo del proyecto se ha formado un consorcio constituido por cuatro entidades públicas y privadas con amplia experiencia en su campo de especialidad (tabla 4). A continuación, se detalla cada uno de ellos:

Tabla 4. *Miembros del consorcio del proyecto.*

| Nº | Nombre del socio participante                      | Acrónimo | Campo de especialidad  | País           |
|----|--|----------|--|----------------|
| 1  | Techlde  | TECH     | Desarrollo de videojuegos y aplicaciones móviles                               | Ecuador        |
| 2  | Centro de rehabilitación de amputaciones MossRehab | MOSRH    | Rehabilitación de amputaciones   | Estados Unidos |
| 3  | OT Bioelettronica                                  | OTB      | Desarrollo y producción de equipos electromédicos                              | Italia         |
| 4  | Dublin City University                             | DCU      | Ánálisis de datos, procesamiento del lenguaje natural e ingeniería de software | Irlanda        |

Fuente: *Elaboración propia.*

#### Techlde (TECH)

Techlde<sup>19</sup> es una empresa ecuatoriana dedicada al desarrollo de sistemas de alto nivel, cuenta con expertos en metodologías ágiles para la gestión de proyectos y siempre en cumplimiento con los más altos estándares de calidad en todos sus procesos, para de esta manera asegurar soluciones tecnológicas eficaces.

Asimismo, cuenta con un gran equipo multidisciplinario que tiene mucha experiencia en el desarrollo de aplicaciones móviles nativas e hibridas tanto para plataformas de *iOS* y *Android*; y con una vasta experiencia en el desarrollo de videojuegos en *Unity* y *Unreal Engine*. Techlde también ofrece servicios de soporte a sistemas integrados de diferentes instituciones de salud que requieran asesoramiento, cambios operativos y puesta en marcha de nuevas actualizaciones.

<sup>19</sup> Techlde es una empresa ficticia creada para este TFM

Techlde ha participado en proyectos de desarrollo de aplicaciones de salud tales como, *BeforeBeat* que permite evaluar al paciente ante un posible ataque cardíaco y *Uplimb* que permite realizar el seguimiento en tiempo real de entrenamientos focalizados en extremidades amputadas, todas sus aplicaciones cumplen con los requisitos fundamentales obteniendo así el distintivo de AppSaludable, es decir que cumple con la certificación requerida para aplicaciones de salud.

El equipo de desarrollo de Techlde, busca siempre fomentar el espíritu competitivo con el fin de ampliar los horizontes de la empresa y conseguir la participación en proyectos de diferente índole, lo cual genera mayor conocimiento y experticia. Razón por la cual los colaboradores de Techlde han participado en varias competencias internacionales, la más importante es *Space Apps Challenge*<sup>20</sup> organizado por la NASA.

Ahora se presenta los perfiles de los trabajadores de Techlde que colaborarán en el proyecto (tabla 5):

Tabla 5. *Perfiles de los trabajadores de Techlde.*

| Unidad | Nivel de titulación                   | Experiencia  | Rol                       |
|--------|---------------------------------------|--|---------------------------|
| 1      | Project Management Professional (PMP) | Coordinación de proyectos tecnológicos durante 4 años, con conocimientos sólidos sobre gerencia de proyectos y PMI | Director del proyecto     |
| 1      | Ingeniero en Sistemas Computacionales | Diseñador de software durante 4 años   | Diseñador de Software     |
| 1      | Ingeniero en Sistemas Computacionales | Desarrollador de software durante 4 años   | Desarrollador de software |

Fuente: *Elaboración propia.*

### **Centro de rehabilitación de amputaciones MossRehab (MOSRH)**

MossRehab<sup>21</sup> es miembro de Einstein Healthcare Network<sup>22</sup>, el centro médico independiente más grande de la región de Filadelfia. Asimismo, tiene importantes acreditaciones y reconocimientos por lo que es parte de los líderes nacionales y mundiales en su campo, por tal razón ha sido reconocido como uno de los mejores hospitales de rehabilitación de Estados Unidos, según la clasificación de USNews & World Report. También, es uno de los únicos centros de la región acreditados por la Comisión de Acreditación de Instalaciones de Rehabilitación para los servicios de rehabilitación de amputaciones (MossRehab, 2021b).

MossRehab cuenta con 23 médicos certificados por la junta en medicina física y rehabilitación y cuatro de estos médicos tienen subespecialidades en amputación. Además, el director

<sup>20</sup> [www.spaceappschallenge.org](http://www.spaceappschallenge.org)

<sup>21</sup> [www.mossrehab.com](http://www.mossrehab.com)

<sup>22</sup> [www.einstein.edu](http://www.einstein.edu)

médico de MossRehab fue quien editó un manual sobre rehabilitación para la Organización Mundial de la Salud, y también aporta con una visión personal sobre la amputación, pues durante una cirugía perdió su mano derecha (MossRehab, 2021a).

En Filadelfia, Pensilvania, Nueva Jersey y Delaware, MossRehab ha conseguido obtener mejores resultados que otras instalaciones de rehabilitación en relación a brindar ayuda a pacientes con amputaciones y prótesis (tabla 6) (MossRehab, 2021a). Asimismo, MossRehab ha logrado una gran mejora en la movilidad funcional del paciente desde su ingreso hasta el alta.

Tabla 6. *Resultados del trabajo de MossRehab.*

| General                      | MossRehab | Otras instalaciones regionales | Puntajes a nivel nacional |
|------------------------------|-----------|--------------------------------|---------------------------|
| Cambio de paciente FIM™      | 27.79     | 25.62                          | 25.70                     |
| % de pacientes dados de alta | 74.24     | 70.48                          | 72.75                     |

Fuente: *Elaboración propia a partir de (MossRehab, 2021b).*

Ahora se presenta los perfiles de los trabajadores de MossRehab que colaborarán en el proyecto (tabla 7):

Tabla 7. *Perfiles de los trabajadores de MossRehab.*

| Unidad | Nivel de titulación          | Experiencia   | Rol                                    |
|--------|------------------------------|---|--|
| 1      | Especialista en Fisiatra     | Coordinación de planes de rehabilitación integral y diagnósticos tempranos durante 5 años | Analista del tratamiento Pre-protésico |
| 1      | Especialista en Fisioterapia | Rehabilitación física en personas con amputaciones durante 4 años                         | Fisioterapeuta                         |

Fuente: *Elaboración propia.*

### OT Bioelettronica (OTB)

OT Bioelettronica<sup>23</sup> es una empresa italiana dedicada a la investigación y el desarrollo en el sector de la electrónica. También cuenta con una especialización particular en el desarrollo y producción en pequeñas series de equipos electromédicos y debido a que tiene contactos con empresas que trabajan en distintos sectores diferentes a la electrónica (mecánica y tecnologías de la información) puede proveer un producto completo.

OT Bioelettronica cuenta con un equipo multidisciplinario y especializado en el desarrollo de software y hardware para fabricar productos de calidad que permitan la detección de señales EMG, siempre combinando la tecnología avanzada de sus máquinas con el diseño para conseguir productos que se distingan en el mercado. Por esta razón han desarrollado

<sup>23</sup> [www.otbioelettronica.it](http://www.otbioelettronica.it)

proyectos de investigación a nivel nacional e internacional, de los cuales se puede destacar los siguientes:

### Proyectos Internacionales

- MyoBan: Redes de sistemas portátiles inalámbricos para neurorrehabilitación mioeléctrica (2017-2019)
- AMYO: Control mioeléctrico avanzado de prótesis (2010-2014)
- TASI: Producción y distribución de electromiógrafos EMG-USB de 48 canales (2006-2008)

### Proyectos Nacionales

- BioFApp: Aplicación de fatiga bioeléctrica (2014-2020)
- Frambuesa azul: Brazalete de reconocimiento de movimiento (2015)
- BioWiD: Dispositivo inalámbrico biomédico (2015) (OT Bioelettronica SRL, 2021)

Ahora se presenta los perfiles de los trabajadores de OT Bioelettronica que colaborarán en el proyecto (tabla 8):

Tabla 8. *Perfiles de los trabajadores de OT Bioelettronica.*

| Unidad | Nivel de titulación                     | Experiencia  | Rol                      |
|--------|---|--|--------------------------|
| 1      | Máster en Project Management            | Coordinación de proyectos de desarrollo de software durante 4 años | Coordinador del proyecto |
| 1      | Ingeniero en Ciencias de la Computación | Desarrollador de software durante 3 años                           | Analista de software     |
| 1      | Máster en Arquitectura de Software      | Desarrollador de arquitectura de software durante 4 años           | Arquitecto de software   |

Fuente: *Elaboración propia.*

### **Insight SFI Research Center for Data Analytics - Dublin City University (DCU)**

Dublin City University<sup>24</sup> (DCU) ha sido nombrada la Universidad del año del Sunday Times para 2021. Este galardón lo obtiene por tercera ocasión, pues también ganó este reconocimiento en 2004 y 2010, desde que en 2002 se publicó por primera vez la Sunday Times Good University Guide (DCU, 2020).

La Escuela de Computación DCU está involucrada con varios centros de investigación de alto perfil financiados a nivel nacional y actualmente cuenta con más de 150 investigadores

<sup>24</sup> [www.dcu.ie](http://www.dcu.ie)

App de rehabilitación muscular para amputación transradial mediante videojuegos 48 utilizando señales electromiográficas

dedicados a crear nuevos conocimientos en áreas tales como, ingeniería de software, análisis de datos y procesamiento del lenguaje natural (DCU, s. f.).

Uno de los centros de investigación en el que colabora DCU es Insight, el cual es considerado uno de los centros de análisis de datos más grandes de Europa, pues está enfocado en áreas, tales como, construcción de modelos, ingeniería y gobernanza de datos, fundamentos de la ciencia de datos, inteligencia artificial confiable, algoritmos de escalado y análisis multimodal (Insight, s. f.-a).

Su línea de investigación esta aplicada a cuatro grandes áreas: salud y desempeño humano, empresas y servicios, comunidades inteligentes e IoT y sostenibilidad y operaciones. Dentro del área de Salud ha desarrollado proyectos y publicaciones, de los cuales se puede destacar los siguientes:

### Proyectos

- *Vizier*<sup>25</sup> - Salud conectada: Manejo y rehabilitación de enfermedades crónicas.
- Aprender e inyectar conocimientos en redes neuronales profundas para un aprendizaje más sólido y eficaz de nuevas tareas con datos de entrenamiento limitados<sup>26</sup> (Insight, s. f.-b).

### Publicaciones

- Reconocimiento y recuento de repeticiones para ejercicios de resistencia muscular local en rehabilitación basada en ejercicios: un estudio comparativo que utiliza modelos de inteligencia artificial (Prabhu et al., 2020).
- Modelo de aprendizaje profundo para la rehabilitación basada en ejercicios utilizando datos de series de tiempo multicanal de un solo sensor portátil (Prabhu et al., 2021).

Ahora se presenta los perfiles de los trabajadores de Dublin City University que colaborarán en el proyecto (tabla 9):

Tabla 9. *Perfiles de los trabajadores de Dublin City University.*

| Unidad | Nivel de titulación                        | Experiencia   | Rol                          |
|--------|--|---|------------------------------|
| 1      | Máster en Inteligencia Artificial aplicada | Investigador Sénior de inteligencia artificial aplicada a la bioingeniería  | Especialista de Data Science |
| 1      | Máster en Soluciones de Big Data           | Desarrollo, gestión y análisis de grandes volúmenes de datos durante 3 años | Analista de Big Data         |

Fuente: Elaboración propia.

<sup>25</sup> [www.insight-centre.org/project/vizier](http://www.insight-centre.org/project/vizier)

<sup>26</sup> [www.insight-centre.org/projects](http://www.insight-centre.org/projects)

## 4.2 Planificación de tareas

El proyecto tendrá una duración de 12 meses y para su desarrollo se ha estructurado en ocho paquetes de trabajo (WP) (tabla 10).

Tabla 10. *Lista de paquetes de trabajo (WP).*

| Nº WP | Nombre del WP  | Líder | Mes de inicio | Mes final |
|-------|--|-------|---------------|-----------|
| WP1   | Gestión del proyecto   | TECH  | 01            | 12        |
| WP2   | Definición de protocolo para el entrenamiento pre-protésico      | MOSRH | 01            | 02        |
| WP3   | Desarrollo de la interfaz visual de la aplicación                | OTB   | 02            | 03        |
| WP4   | Desarrollo de los videojuegos                                    | TECH  | 03            | 07        |
| WP5   | Ánalisis de datos  | DCU   | 05            | 07        |
| WP6   | Comunicación entre el dispositivo de sensorizado y la aplicación | OTB   | 07            | 08        |
| WP7   | Integración, evaluación y validación                             | DCU   | 09            | 12        |
| WP8   | Diseminación, comunicación y explotación de resultados           | TECH  | 01            | 12        |

Fuente: *Elaboración propia.*

A continuación, se detalla cada uno de ellos (tablas 11-18). Para ello es necesario tener en cuenta la siguiente nomenclatura: T, tarea; D, entregable y M, Mes.

Tabla 11. *WP1 - Gestión del proyecto.*

| Nº del WP  | WP1                  | Mes de inicio        | 01              | Mes final | 12 |  |  |  |
|--|----------------------|----------------------|-----------------|-----------|----|--|--|--|
| <b>Título del WP</b>   | Gestión del proyecto |                      |                 |           |    |  |  |  |
| <b>Líder</b>   | TECH                 | <b>Participantes</b> | MOSRH, OTB, DCU |           |    |  |  |  |
| <b>Objetivo</b>  |                      |                      |                 |           |    |  |  |  |
| Facilitar la comunicación y cooperación entre los participantes del proyecto mediante la coordinación de actividades que aseguren el cumplimiento de los objetivos para el aseguramiento de la calidad del proyecto.   |                      |                      |                 |           |    |  |  |  |
| <b>Descripción del trabajo</b>   |                      |                      |                 |           |    |  |  |  |
| <p><b>T1.1 Coordinar las actividades requeridas para ejecutar el proyecto.</b> Líder: TECH; Participantes: MOSRH, OTB, DCU (M01-M12). Definición de todas las actividades necesarias para la ejecución del proyecto, teniendo en cuenta las tareas de gestión administrativa y financiera, al igual que los riesgos que se pudieran producir para tomar acciones y reducir su impacto.</p> |                      |                      |                 |           |    |  |  |  |
| <p><b>T1.2 Gestionar la comunicación entre todos los socios del proyecto.</b> Líder: TECH (M01-M01). Creación de una infraestructura electrónica para facilitar la comunicación dentro del consorcio y para el acceso compartido controlado a los documentos del proyecto.</p>   |                      |                      |                 |           |    |  |  |  |
| <p><b>T1.3 Monitorear el proceso técnico día a día.</b> Líder: TECH (M01-M12). Evaluación del progreso del proyecto conforme a lo establecido en el cronograma, asegurando el control y calidad de los entregables.</p>  |                      |                      |                 |           |    |  |  |  |

Tabla 11 (continuación). *WP1 - Gestión del proyecto.*

|  |
|--|
| <b>T1.4 Adoptar un sistema para el aseguramiento de la calidad del proyecto.</b> <i>Líder: TECH; Participante: OTB (M01-M01).</i> Creación de un manual que defina las funciones, responsabilidades y procedimientos de aseguramiento de la calidad de todo el proyecto.   |
| <b>T1.5 Administrar los Derechos de Propiedad Intelectual.</b> <i>Líder: TECH; Participantes: MOSRH, OTB, DCU (M01-M01).</i> Especificación de las actividades que pueden proceder sin obstáculos con respecto a disputas sobre propiedad y derechos de explotación.   |
| <b>Entregables</b>   |
| D1.1 Reporte con la descripción de las actividades y sus respectivos riesgos (M01).<br>D1.2 Plan de gestión de las comunicaciones (M01).<br>D1.3 Reporte de los hitos alcanzados (M03, M06, M09, M12).<br>D1.4 Plan de gestión de la calidad (M01).<br>D1.5 Acta de acuerdo sobre los Derechos de Propiedad Intelectual (M01). |

Fuente: *Elaboración propia.*

Tabla 12. *WP2 - Definición de protocolo para el entrenamiento pre-protésico.*

| Nº del WP   | WP2  | Mes de inicio        | 01  | Mes final | 02 |  |  |
|---|--|----------------------|-----|-----------|----|--|--|
| <b>Título del WP</b>  | Definición del protocolo para el entrenamiento pre-protésico |                      |     |           |    |  |  |
| <b>Líder</b>  | MOSRH  | <b>Participantes</b> | OTB |           |    |  |  |
| <b>Objetivo</b>   |  |                      |     |           |    |  |  |
| Establecer el protocolo del entrenamiento muscular en la etapa pre-protésica mediante la definición de diferentes parámetros para la preparación del paciente en el manejo correcto de una prótesis mioeléctrica.   |  |                      |     |           |    |  |  |
| <b>Descripción del trabajo</b>  |  |                      |     |           |    |  |  |
| <b>T2.1 Definir las características del entrenamiento.</b> <i>Líder: MOSRH (M01-M01).</i> Selección de los movimientos de la articulación del codo y hombro más importantes que permiten mayor funcionalidad para el uso futuro de una prótesis mioeléctrica.   |  |                      |     |           |    |  |  |
| <b>T2.2 Establecer el protocolo de entrenamiento muscular para pacientes con amputación transradial.</b> <i>Líder: MOSRH (M01-M02).</i> Descripción de los principios que se tendrán en cuenta en el protocolo, incluyendo la técnica seleccionada para el entrenamiento muscular.  |  |                      |     |           |    |  |  |
| <b>T2.3 Definir los parámetros del entrenamiento necesarios para la aplicación.</b> <i>Líder: MOSRH; Participante: OTB (M02-M02).</i> Definición de los parámetros con sus respectivos rangos de valores, éstos incluyen: número de repeticiones y series, micro y macro pausas.  |  |                      |     |           |    |  |  |
| <b>T2.4 Seleccionar la ubicación para colocación de electrodos en los músculos.</b> <i>Líder: MOSRH (M02-M02).</i> Identificación de los músculos que intervienen en los movimientos a entrenar para establecer directrices que faciliten la colocación de los electrodos.  |  |                      |     |           |    |  |  |
| <b>Entregables</b>  |  |                      |     |           |    |  |  |
| D2.1 Informe descriptivo de los movimientos que permitirá entrenar la aplicación (M01).<br>D2.2 Protocolo de entrenamiento para pacientes con amputaciones transradiales (M02).<br>D2.3 Informe sobre los parámetros necesarios para el diseño de la aplicación (M02).<br>D2.4 Guía para la colocación de electrodos (M02). |  |                      |     |           |    |  |  |

Fuente: *Elaboración propia.*

Tabla 13. WP3 - Desarrollo de la interfaz visual de la aplicación.

| Nº del WP  | WP3   | Mes de inicio | 02 | Mes final   | 03 |
|--|---|---------------|----|-------------|----|
| Título del WP  | Desarrollo de la interfaz visual de la aplicación |               |    |             |    |
| Líder  | OTB   | Participantes |    | MOSRH, TECH |    |
| <b>Objetivo</b>  |   |               |    |             |    |
| Desarrollar la interfaz visual de la aplicación mediante el diseño de formularios que permita el ingreso de datos importantes para el registro y la evaluación del entrenamiento del paciente.   |   |               |    |             |    |
| <b>Descripción del trabajo</b>   |   |               |    |             |    |
| <p><b>T3.1 Diseño conceptual de la interfaz.</b> Líder: OTB; Participante: MOSRH (M02-M02). Descripción y bosquejo de todos los detalles que se deben incluir en la aplicación, tales como, formularios, listados de opciones, botones de acceso, etc., y su respectiva ubicación dentro de la aplicación.</p>   |   |               |    |             |    |
| <p><b>T3.2 Desarrollar las ventanas de la ampliación.</b> Líder: OTB (M02-M03). El desarrollo tanto de diseño, así como de código de las diferentes ventanas (inicial, inicio de sesión, registro de usuario/paciente, status, selección de articulación, tipo de movimiento y nivel) que conforman la aplicación deben incluir todos los requerimientos previamente establecidos.</p> |   |               |    |             |    |
| <p><b>T3.3 Evaluar los resultados e incorporar mejoras.</b> Líder: OTB; Participante: TECH (M03-M3). Validación de datos, verificación de conexión entre los diferentes componentes de la aplicación y los parámetros del entrenamiento, e incorporación de las mejoras necesarias para el correcto funcionamiento de la aplicación.</p>   |   |               |    |             |    |
| <b>Entregables</b>   |   |               |    |             |    |
| D3.1 Bosquejo del diseño de la interfaz de la aplicación (M02).  |   |               |    |             |    |
| D3.2 Ventanas de inicio de sesión, registro del usuario/paciente, estatus, selección de articulación, selección de tipo de movimiento y selección del nivel a entrenar (M03).  |   |               |    |             |    |
| D3.3 Interfaz visual validada (M03).   |   |               |    |             |    |

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 14. WP4 - Desarrollo de los videojuegos.

| Nº del WP  | WP4                           | Mes de inicio | 03 | Mes final  | 07 |
|--|-------------------------------|---------------|----|------------|----|
| Título del WP  | Desarrollo de los videojuegos |               |    |            |    |
| Líder  | TECH                          | Participantes |    | MOSRH, OTB |    |
| <b>Objetivo</b>  |                               |               |    |            |    |
| Desarrollar los videojuegos de cada movimiento y nivel del entrenamiento del paciente mediante el diseño de escenarios creativos e interactivos para una rehabilitación más integral.  |                               |               |    |            |    |
| <b>Descripción del trabajo</b>   |                               |               |    |            |    |
| <p><b>T4.1 Definir el tipo de videojuego y sus características.</b> Líder: TECH; Participante: MOSRH (M03-M03). Definición del objetivo del videojuego, es decir, la temática en la que se desarrollará cada movimiento a entrenar teniendo en cuenta la acción para cada personaje.</p> |                               |               |    |            |    |
| <p><b>T4.2 Diseñar los elementos del videojuego.</b> Líder: TECH; Participante: MOSRH (M04-M06). Diseño del personaje (primera o tercera persona), ambiente con todas las</p>  |                               |               |    |            |    |

Tabla 14 (continuación). *WP4 - Desarrollo de los videojuegos.*

| Descripción del trabajo  |
|--|
| características en el que se desarrollará el videojuego y las variaciones que tendrán los diferentes niveles.  |
| <b>T4.3 Diseñar ventanas emergentes.</b> Líder: TECH; Participante: MOSRH (M04-M04). Diseño de mensajes interactivos que brinden soporte y guía al paciente durante su entrenamiento con los videojuegos.  |
| <b>T4.4 Diseñar los menús del videojuego.</b> Líder: TECH (M04-M04). Diseño del menú inicial (resumen del tipo de movimiento a entrenar, botones para selección de acciones previas al entrenamiento) y final (botones de acciones finales del videojuego).  |
| <b>T4.5 Crear funciones para movimientos y acciones del personaje.</b> Líder: TECH (M05-M06). Creación de código para acciones del personaje del videojuego (parámetros de movimiento, intervalos de descanso entre cada serie, etc.).   |
| <b>T4.6 Crear funciones de las acciones generales del videojuego.</b> Líder: TECH (M05-M06). Creación de funciones generales que mejoren la interacción del paciente con el videojuego (score y contador de número de series).   |
| <b>T4.7 Crear función de evaluación de desempeño en el videojuego.</b> Líder: TECH (M07-M07). Creación de función que permita determinar el nivel de desempeño del paciente en cada sesión de entrenamiento para obtener una evaluación integral de su progreso en general.  |
| <b>T4.8 Diseñar las características adicionales del videojuego.</b> Líder: TECH (M07-M07). Diseño de los detalles finales del videojuego (interfaz del score y de la llegada a la meta)  |
| <b>T4.9 Evaluar los resultados e incorporar mejoras.</b> Líder: TECH; Participante: OTB (M07-M07). Verificación de los diferentes componentes de los videojuegos, incorporación de las mejoras necesarias y validación del correcto funcionamiento.  |
| Entregables  |
| D4.1 Informe de especificaciones técnicas del videojuego y su dinámica (M03).<br>D4.2 Videojuegos de cada movimiento y nivel a entrenar (M06).<br>D4.3 Ventanas emergentes de: evaluación de desempeño en el videojuego, ayuda o soporte durante el videojuego e intervalos de descanso durante el entrenamiento (M04).<br>D4.4 Menú inicial y final del videojuego (M04).<br>D4.5 Funcionalidades del personaje (M06).<br>D4.6 Funcionalidades generales del videojuego (M06).<br>D4.7 Función de valoración del desempeño del paciente (M07).<br>D4.8 Interfaz del score y meta del videojuego (M07).<br>D4.9 Videojuegos validados (M07). |

Fuente: *Elaboración propia.*

Tabla 15. WP5 - Análisis de datos.

| Nº del WP   | WP5               | Mes de inicio | 05          | Mes final | 07 |  |  |  |
|---|-------------------|---------------|-------------|-----------|----|--|--|--|
| Título del WP   | Análisis de datos |               |             |           |    |  |  |  |
| Líder   | DCU               | Participantes | MOSRH, TECH |           |    |  |  |  |
| Objetivo  |                   |               |             |           |    |  |  |  |
| Analizar la información del paciente mediante una red neuronal, <i>Maching Learning</i> y <i>Big Data</i> para la predicción de los valores de cada parámetro del entrenamiento muscular.   |                   |               |             |           |    |  |  |  |
| Descripción del trabajo   |                   |               |             |           |    |  |  |  |
| <p><b>T5.1 Buscar un banco de datos médicos referentes a los tipos de movimientos a entrenar.</b> Líder: DCU; Participante: MOSRH (M05-M05). Búsqueda de datos médicos y parámetros sobre los movimientos de las articulaciones del miembro superior para el entrenamiento de la red neuronal.</p> <p><b>T5.2 Buscar y definir el tipo de red neuronal.</b> Líder: DCU (M06-M06). Búsqueda de la red neuronal que mejor se adapte para los requerimientos del entrenamiento y pueda realizar una valoración correcta del paciente.</p> <p><b>T5.3 Realizar el entrenamiento de la red neuronal.</b> Líder: DCU (M06-M06). Analizar y establecer parámetros idóneos para el entrenamiento de la red neuronal con la data recolectada.</p> <p><b>T5.4 Buscar y definir el algoritmo de análisis.</b> Líder: DCU (M07-M07). Definición del tipo de algoritmo de <i>Maching Learning</i> y <i>Big Data</i> que se va a utilizar o a su vez adaptarlo y/o desarrollarlo desde cero.</p> <p><b>T5.5 Crear la función de predicción mediante <i>EDGE AI</i> (Inteligencia Artificial de Borde).</b> Líder: DCU (M07-M07). Creación de una función de predicción utilizando Inteligencia Artificial de Borde con la finalidad de que se mantengan las predicciones de manera offline.</p> <p><b>T5.6 Crear la función de recepción y envío de datos.</b> Líder: DCU; Participante: TECH (M05-M05). Creación de una función que permita recibir y enviar datos entre los distintos componentes de la aplicación (videojuegos y la red neuronal).</p> |                   |               |             |           |    |  |  |  |
| Entregables   |                   |               |             |           |    |  |  |  |
| D5.1 Banco de datos médicos de todos los movimientos a entrenar (M05).<br>D5.2 Especificaciones de la red neuronal (M06).<br>D5.3 Modelo de predicción de la red neuronal (M06).<br>D5.4 Especificaciones del algoritmo de <i>Maching Learning</i> (M07).<br>D5.5 Función de predicción de los parámetros de entrenamiento (M07).<br>D5.6 Función de recepción y envío de datos (M05).  |                   |               |             |           |    |  |  |  |

Fuente: *Elaboración propia.*

Tabla 16. WP6 - Comunicación entre el dispositivo de sensorizado y la aplicación.

| Nº del WP  | WP6  | Mes de inicio | 07         | Mes final | 08 |  |  |  |
|--|--|---------------|------------|-----------|----|--|--|--|
| Título del WP  | Comunicación entre el dispositivo de sensorizado y la aplicación |               |            |           |    |  |  |  |
| Líder  | OTB  | Participantes | MOSRH, DCU |           |    |  |  |  |
| Objetivo   |  |               |            |           |    |  |  |  |
| Establecer la conexión entre el dispositivo de sensorizado y la aplicación mediante comunicación por bluetooth para la activación del videojuego con las señales EMG.  |  |               |            |           |    |  |  |  |
| Descripción del trabajo  |  |               |            |           |    |  |  |  |
| <p><b>T6.1 Crear ventana de conectividad entre el dispositivo de sensorizado y la aplicación.</b> Líder: OTB (M07-M07). El diseño de la interfaz de la ventana debe incluir botones y mensajes para establecer la conexión entre el dispositivo de sensorizado y la aplicación.</p> <p><b>T6.2 Crear la función de verificación de la conexión del dispositivo de sensorizado y la aplicación.</b> Líder: OTB (M07-M07). Desarrollo de una función (código) que tiene como objetivo la verificación de que se ha establecido de manera correcta la comunicación por bluetooth entre el dispositivo de sensorizado y la aplicación.</p> <p><b>T6.3 Analizar las señales electromiográficas (EMG).</b> Líder: OTB; Participante: DCU (M07-M07). Tratamiento de las señales EMG, es decir realizar el análisis y procesamiento (pre-amplificación, filtrado, rectificación, conversión analógica digital de la señal, etc).</p> <p><b>T6.4 Crear el servidor en Azure.</b> Líder: OTB; Participante: DCU (M08-M08). Establecimiento de recursos idóneos (RAM, procesador, almacenamiento, ubicación) para el levantamiento de la máquina virtual en la nube.</p> <p><b>T6.5 Crear la base de datos.</b> Líder: OTB; Participante: MOSRH (M08-M08). Creación de la base de datos teniendo en cuenta los parámetros importantes y la estructura necesaria para que el fisioterapeuta pueda analizar el avance del paciente.</p> |  |               |            |           |    |  |  |  |
| Entregables  |  |               |            |           |    |  |  |  |
| D6.1 Ventana de conectividad entre el dispositivo de sensorizado y la aplicación (M07).<br>D6.2 Función de verificación de conexión del dispositivo de sensorizado a la aplicación (M07).<br>D6.3 Señales electromiográficas “limpias” listas para activar el videojuego (M07).<br>D6.4 Servidor Azure (M08).<br>D6.5 Base de datos del paciente (M08).  |  |               |            |           |    |  |  |  |

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 17. WP7 - Integración, evaluación y validación.

| Nº del WP   | WP7                                  | Mes de inicio | 09               | Mes final | 12 |  |  |  |
|---|--------------------------------------|---------------|------------------|-----------|----|--|--|--|
| Título del WP   | Integración, evaluación y validación |               |                  |           |    |  |  |  |
| Líder   | DCU                                  | Participantes | MOSRH, OTB, TECH |           |    |  |  |  |
| Objetivo  |                                      |               |                  |           |    |  |  |  |
| Integrar, evaluar y validar todos los componentes de la aplicación mediante un número de pruebas establecidas para la obtención de la aplicación de rehabilitación muscular del miembro superior. |                                      |               |                  |           |    |  |  |  |

Tabla 17 (continuación). *WP7 - Integración, evaluación y validación.*

| Descripción del trabajo  |
|--|
| <b>T7.1 Revisar las funcionalidades del Backend y Frontend.</b> Líder: DCU; Participantes: OTB, TECH (M09-M09). Validación de las funciones realizadas en el Backend y Frontend con la finalidad de verificar su correcto funcionamiento.  |
| <b>T7.2 Consolidar las acciones entre el Backend y Frontend.</b> Líder: DCU; Participantes: OTB, TECH (M09-M09). Definición de las funciones que permitan la interoperabilidad entre el Backend y Frontend.  |
| <b>T7.3 Comprobar los microservicios.</b> Líder: DCU (M09-M09). Validación de cada servicio generado para la interacción entre la base de datos y la interfaz de usuario.  |
| <b>T7.4 Crear la aplicación beta y realizar pruebas.</b> Líder: DCU; Participantes: OTB, TECH (M09-M09). Desarrollo de la aplicación beta para realizar comprobaciones de funcionalidades de acuerdo con un número de pruebas establecidas (verificación de interfaz gráfica, realización de registros de pacientes, comprobar conectividad con la red neuronal, etc.)   |
| <b>T7.5 Seleccionar voluntarios con amputaciones transradiales.</b> Líder: MOSRH (M09-M09). Especificación de los criterios de selección de los pacientes voluntarios y el número total de participantes, incluyendo el documento “consentimiento informado” con la firma del paciente para aprobar su participación en el proyecto.   |
| <b>T7.6 Evaluar el funcionamiento integral de la aplicación.</b> Líder: DCU; Participantes: MOSRH, OTB, TECH (M10-M11). Ejecución de pruebas de todos los movimientos en pacientes voluntarios que estén realizando rehabilitación muscular del miembro superior.  |
| <b>T7.7 Analizar el progreso del paciente.</b> Líder: MOSRH (M10-M11). Seguimiento y control de los pacientes en cada una de las cuatro fases: inicial, intermedia, final e implementación (entrenamiento con la prótesis).  |
| <b>T7.8 Evaluar los resultados de la solución propuesta.</b> Líder: DCU; Participantes: MOSRH, OTB, TECH (M12-M12). Evaluación final de cada una de las fases de la rehabilitación muscular, validando que la mayoría o a su vez todos los pacientes si puedan realizar movimientos determinados con facilidad y eficiencia utilizando la prótesis mioeléctrica.   |
| Entregables  |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>D7.1 Listado de funciones validadas (M09).</li> <li>D7.2 Integración completa de la aplicación (M09).</li> <li>D7.3 Reporte del correcto funcionamiento de los microservicios (M09).</li> <li>D7.4 Aplicación beta (M09).</li> <li>D7.5 Informe de criterios de selección y consentimiento informado firmado por todos los pacientes (M09)</li> <li>D7.6 Aplicación para la rehabilitación muscular (M11)</li> <li>D7.7 Informe de avance del paciente (M11)</li> <li>D7.8 Informe final de evaluación de resultados (M12)</li> </ul> |

Fuente: *Elaboración propia.*

Tabla 18. WP8 - Diseminación, comunicación y explotación de resultados.

| Nº del WP  | WP8  | Mes de inicio        | 01              | Mes final | 12 |  |  |  |
|--|--|----------------------|-----------------|-----------|----|--|--|--|
| <b>Título del WP</b>   | Diseminación, comunicación y explotación de resultados |                      |                 |           |    |  |  |  |
| <b>Líder</b>   | TECH   | <b>Participantes</b> | OTB, DCU, MOSRH |           |    |  |  |  |
| <b>Objetivo</b>  |  |                      |                 |           |    |  |  |  |
| Crear un plan de divulgación y explotación de resultados mediante un grupo de indicadores que permitan la medición de la efectividad para la obtención del éxito del proyecto.   |  |                      |                 |           |    |  |  |  |
| <b>Descripción del trabajo</b>   |  |                      |                 |           |    |  |  |  |
| <p><b>T8.1 Elaborar el plan de diseminación y comunicación.</b> Líder: TECH; Participantes: DCU, MOSRH (M01-M03). Creación del documento de Plan de Diseminación y Comunicación teniendo en cuenta la actuación en diferentes medios para diferente público objetivo, en el capítulo 4.7 se describirá a más detalle.</p> <p><b>T8.2 Elaborar el plan de explotación.</b> Líder: TECH; Participantes: OTB, MOSRH (M03-M05). Creación del documento Plan de Explotación teniendo en cuenta la identificación de los resultados que pueden ser explotados y la mejor fórmula que permita una explotación eficaz, en el capítulo 4.7 se describirá a más detalle.</p> <p><b>T8.3 Ejecutar el plan de diseminación y comunicación.</b> Líder: TECH; Participantes: DCU, MOSRH (M03-M12). Comienzo de las acciones definidas en el plan de diseminación y comunicación según el público objetivo al que van dirigidas y teniendo en cuenta la medición del impacto.</p> <p><b>T8.4 Ejecutar el plan de explotación.</b> Líder: TECH; Participantes: OTB, MOSRH (M12-M12). Ejecución del plan de explotación contrastando los resultados obtenidos con los esperados para su evaluación final, incluyendo el trámite para el registro de la patente.</p> |  |                      |                 |           |    |  |  |  |
| <b>Entregables</b>   |  |                      |                 |           |    |  |  |  |
| <p>D8.1 Documento Plan de Diseminación y Comunicación (M03).</p> <p>D8.2 Documento Plan de Explotación (M05).</p> <p>D8.3 Informe de evaluación del impacto del plan de diseminación y comunicación (M04, M08, M12).</p> <p>D8.4 Informe de resultados del plan de explotación y registro de la patente (M12).</p>   |  |                      |                 |           |    |  |  |  |

Fuente: Elaboración propia.

Asimismo, ahora se presenta el diagrama de Gantt para una mejor visualización de la línea temporal del proyecto (tabla 19):

Tabla 19. Diagrama de Gantt del proyecto.

| ID         | Nombre  | S1  |     |     |     |     |     | S2  |     |     |     |     |     |
|------------|---|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
|            |   | M01 | M02 | M03 | M04 | M05 | M06 | M07 | M08 | M09 | M10 | M11 | M12 |
| <b>WP1</b> | <b>Gestión del proyecto</b>   |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| T1.1       | Coordinar las actividades requeridas para ejecutar el proyecto      |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| T1.2       | Gestionar la comunicación entre todos los socios del proyecto       |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| T1.3       | Monitorear el proceso técnico día a día                             |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| T1.4       | Adoptar un sistema para el aseguramiento de la calidad del proyecto |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| T1.5       | Administrar los Derechos de Propiedad Intelectual                   |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |

Tabla 19 (continuación). *Diagrama de Gantt del proyecto.*

| ID         | Nombre   | S1  |     |     |     |     |     | S2  |     |     |     |     |     |
|------------|--|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
|            |  | M01 | M02 | M03 | M04 | M05 | M06 | M07 | M08 | M09 | M10 | M11 | M12 |
| <b>WP2</b> | <b>Definición de protocolo para el entrenamiento pre-protésico</b>                             |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| T2.1       | Definir las características del entrenamiento  |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| T2.2       | Establecer el protocolo de entrenamiento muscular para pacientes con amputación transradial    |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| T2.3       | Definir los parámetros del entrenamiento necesarios para la aplicación                         |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| T2.4       | Seleccionar la ubicación para colocación de electrodos en los músculos                         |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| <b>WP3</b> | <b>Desarrollo de la interfaz visual de la aplicación</b>                                       |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| T3.1       | Diseño conceptual de la interfaz   |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| T3.2       | Desarrollar las ventanas de la ampliación  |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| T3.3       | Evaluar los resultados e incorporar mejoras  |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| <b>WP4</b> | <b>Desarrollo de los videojuegos</b>   |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| T4.1       | Definir el tipo de videojuego y sus características  |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| T4.2       | Diseñar los elementos del videojuego   |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| T4.3       | Diseñar ventanas emergentes  |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| T4.4       | Diseñar los menús del videojuego   |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| T4.5       | Crear funciones para movimientos y acciones del personaje                                      |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| T4.6       | Crear funciones de las acciones generales del videojuego                                       |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| T4.7       | Crear función de evaluación de desempeño en el videojuego                                      |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| T4.8       | Diseñar las características adicionales del videojuego   |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| T4.9       | Evaluar los resultados e incorporar mejoras  |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| <b>WP5</b> | <b>Ánalisis de datos</b>   |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| T5.1       | Buscar un banco de datos médicos referentes a los tipos de movimientos a entrenar              |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| T5.2       | Buscar y definir el tipo de red neuronal   |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| T5.3       | Realizar el entrenamiento de la red neuronal   |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| T5.4       | Buscar y definir el algoritmo de análisis  |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| T5.5       | Crear la función de predicción mediante EDGE AI (Inteligencia Artificial de Borde)             |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| T5.6       | Crear la función de recepción y envío de datos   |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| <b>WP6</b> | <b>Comunicación entre el dispositivo de sensorizado y la aplicación</b>                        |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| T6.1       | Crear ventana de conectividad entre el dispositivo de sensorizado y la aplicación              |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| T6.2       | Crear la función de verificación de la conexión del dispositivo de sensorizado y la aplicación |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| T6.3       | Analizar las señales electromiográficas  |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| T6.4       | Crear el servidor en Azure   |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| T6.5       | Crear la base de datos   |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| <b>WP7</b> | <b>Integración, evaluación y validación</b>  |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| T7.1       | Revisar las funcionalidades del Backend y Frontend   |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| T7.2       | Consolidar las acciones entre el Backend y Frontend  |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| T7.3       | Comprobar los microservicios   |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| T7.4       | Crear la aplicación beta y realizar pruebas  |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| T7.5       | Seleccionar voluntarios con amputaciones transradiales   |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| T7.6       | Evaluar el funcionamiento integral de la aplicación  |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| T7.7       | Analizar el progreso del paciente  |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| T7.8       | Evaluar los resultados de la solución propuesta  |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| <b>WP8</b> | <b>Diseminación, comunicación y explotación de resultados</b>                                  |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| T8.1       | Elaborar el plan de diseminación y comunicación  |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| T8.2       | Elaborar el plan de explotación  |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| T8.3       | Ejecutar el plan de diseminación y comunicación  |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| T8.4       | Ejecutar el plan de explotación  |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |

Fuente: Elaboración propia.

### 4.3 Hitos

Es necesario mantener una evaluación continua del proyecto, por lo tanto, se ha establecido los hitos más importantes que permitan determinar si el proyecto marcha conforme a lo planeado. A continuación, se detalla cada uno de ellos (tabla 20):

Tabla 20. *Lista de hitos del proyecto.*

| Nº hito | Nombre del hito  | WP    | Mes de entrega | Medios de verificación  |
|---------|--|-------|----------------|---|
| 1       | Primeras especificaciones del proyecto                         | WP1   | M01            | Informe de requisitos funcionales y no funcionales del proyecto   |
| 2       | Acuerdo sobre los Derechos de Propiedad Intelectual            | WP1   | M01            | Acta de acuerdo sobre los Derechos de Propiedad Intelectual firmada por todos los miembros del proyecto |
| 3       | Protocolo para el entrenamiento pre-protésico                  | WP2   | M02            | Informe con todos los detalles considerados para el entrenamiento pre-protésico                         |
| 4       | Interfaz visual de la aplicación                               | WP3   | M03            | Pruebas unitarias de navegabilidad  |
| 5       | Videojuegos para cada tipo de movimiento a entrenar            | WP4   | M07            | Pruebas unitarias de navegabilidad  |
| 6       | Evaluación intermedia del proyecto en general                  | Todos | M06            | Informe de cumplimiento del alcance, costo y tiempo   |
| 7       | Red neuronal entrenada   | WP5   | M07            | Comparación de predicciones con datos reales  |
| 8       | Algoritmo de <i>Maching Learning</i> y <i>Big Data</i>         | WP5   | M07            | Comparación de predicciones esperadas con las realmente obtenidas                                       |
| 9       | Función de predicción mediante <i>EDGE AI</i>                  | WP5   | M08            | Comparación de predicciones con datos de manera offline   |
| 10      | Función para el tratamiento de las señales EMG                 | WP6   | M08            | Comparación entre señales EMG tratadas y puras  |
| 11      | Base de datos  | WP6   | M09            | Datos personales y médicos correctamente guardados  |
| 12      | Microservicios funcionales                                     | WP7   | M10            | Conexión estable entre la aplicación y la nube  |
| 13      | Pruebas en la aplicación beta                                  | WP7   | M10            | Pruebas de las funciones base desarrolladas previamente   |
| 14      | Aplicación validada  | WP7   | M12            | Aplicación funcionando correctamente  |
| 15      | Resultados del impacto del plan de diseminación y comunicación | WP8   | M04, M08, M12  | Evaluación de los resultados  |
| 16      | Resultados del plan de explotación                             | WP8   | M12            | Evaluación de los resultados  |

Fuente: *Elaboración propia.*

## 4.4 Riesgos y plan de contingencia

La gestión de los riesgos es uno de los puntos indispensables para una adecuada gestión de proyectos, por lo tanto, para gestionar los riesgos asociados al desarrollo de la aplicación de rehabilitación muscular para amputación transradial mediante videojuegos utilizando señales electromiográficas es necesario la identificación de los potenciales riesgos, analizarlos, dar una respuesta y monitorearlos, lo que permite minimizar y controlar el impacto en la fase de ejecución para garantizar el éxito del proyecto.

Para obtener un mejor y mayor control de los riesgos que puedan existir en las diferentes actividades del proyecto es conveniente detallar una estructura de desglose de riesgos (EDR) (figura 29), ya que permite hacer una estimación mucho más exacta.

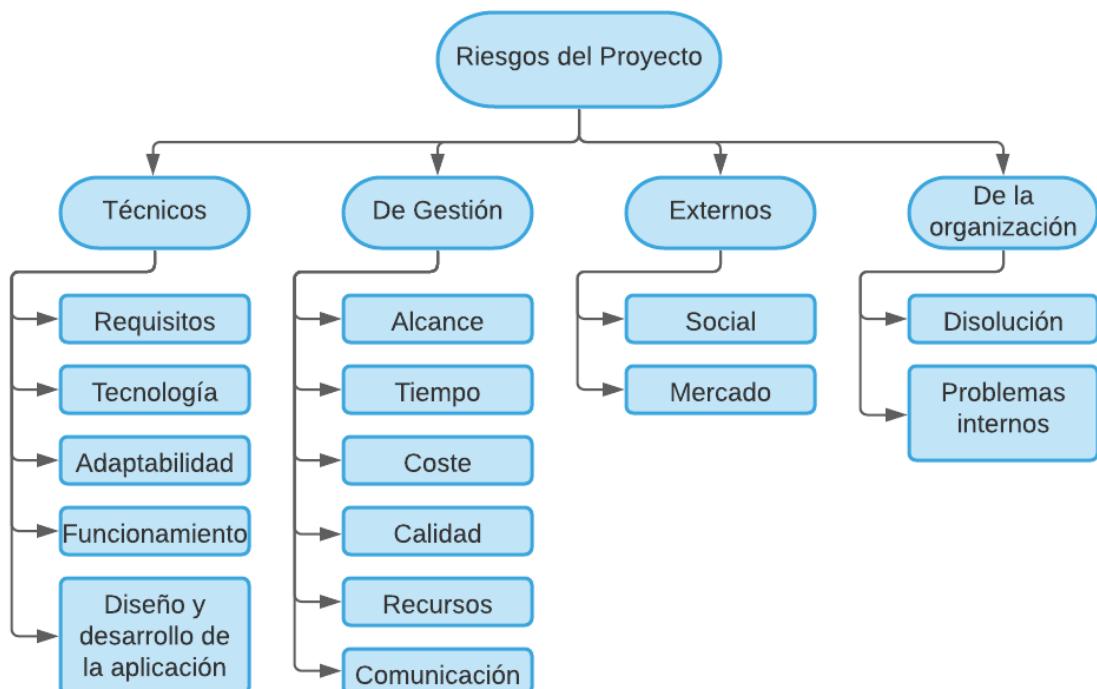


Figura 29. EDR del proyecto.

Fuente: Elaboración propia a partir de (PMI, 2017).

### 4.4.1 Identificación de los riesgos

La identificación de posibles riesgos que puedan afectar el éxito del proyecto es muy importante, razón por la cual para este proyecto se los ha identificado por categorías para facilitar su análisis. A continuación, se detalla cada uno de los riesgos (tabla 21):

Tabla 21. *Identificación de los riesgos del proyecto.*

| Categoría  | Sub categoría                        | Riesgo identificado   |
|------------|--------------------------------------|---|
| Técnicos   | Requisitos                           | <ul style="list-style-type: none"> <li>• No contemplar todos los requisitos</li> </ul>  |
|            | Tecnología                           | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Incompatibilidad entre los componentes que conforman la aplicación</li> <li>• Complejidad en la creación de las funciones para análisis de datos</li> <li>• Incorrecta implementación de los parámetros de seguridad en el desarrollo de la aplicación</li> <li>• Recursos tecnológicos de hardware y software incompatibles</li> </ul>  |
|            | Adaptabilidad                        | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Incompatibilidad con ciertas versiones de Android o IOS</li> </ul>   |
|            | Funcionamiento                       | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Errores con el servidor en la conexión entre la nube y la aplicación</li> <li>• Errores con el servidor en la conexión a la base de datos de la aplicación</li> <li>• Bajo rendimiento del funcionamiento de la aplicación</li> <li>• Error al ingresar a la aplicación</li> <li>• Error al cargar los videojuegos</li> <li>• Errores con la interfaz de la aplicación</li> <li>• La aplicación no funciona en entorno offline</li> </ul>  |
|            | Diseño y desarrollo de la aplicación | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Diseño incompleto de la aplicación</li> <li>• Mala calidad en el diseño de las gráficas del videojuego</li> <li>• Mala estructuración de ventanas de la interfaz de la aplicación</li> <li>• No cumplir con los estándares de diseño de aplicaciones</li> <li>• Mala integración de los componentes desarrollados que conforman la aplicación</li> <li>• Estructura de la base de datos errónea</li> <li>• Mala definición de parámetros para la red neuronal</li> <li>• Mala definición de parámetros para el algoritmo de <i>Maching Learning</i> y <i>Big Data</i></li> </ul> |
|            | Alcance                              | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Modificaciones del alcance a lo largo del desarrollo del proyecto</li> </ul>   |
|            | Tiempo                               | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Incumplimiento con el cronograma planificado</li> <li>• Cambios en las fechas de presentación de entregables</li> </ul>  |
|            | Coste                                | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Exceder los costes</li> </ul>  |
| De Gestión | Calidad                              | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Métricas de calidad inadecuadas</li> <li>• Evaluación de entregables mal definida</li> </ul>   |
|            | Recursos                             | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Disminución de recursos</li> <li>• Poco compromiso de los miembros del consorcio</li> <li>• Salida de un miembro del equipo</li> </ul>   |

Tabla 21 (continuación). *Identificación de los riesgos del proyecto.*

| Categoría          | Sub categoría      | Riesgo identificado   |
|--------------------|--------------------|---|
| De Gestión         | Comunicación       | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Comunicación deficiente</li> <li>• Pérdida de información de procesos</li> <li>• Datos erróneos</li> </ul>   |
| Externos           | Social             | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Bajo nivel de compromiso en la inversión de herramientas para rehabilitación de personas amputadas</li> <li>• Pocas políticas relacionadas a la inclusión de personas con discapacidad física</li> </ul> |
|                    | Mercado            | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Baja demanda de la aplicación</li> </ul>   |
| De la organización | Disolución         | <ul style="list-style-type: none"> <li>• División de los socios</li> </ul>  |
|                    | Problemas internos | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Diferentes pensamientos sobre cómo se está llevando el proyecto</li> </ul>   |

Fuente: *Elaboración propia.*

#### 4.4.2 Análisis, cuantificación y priorización de los riesgos

El análisis de los riesgos del proyecto se realizará mediante la matriz cruzada de probabilidad e impacto (tabla 22), con la finalidad de obtener la cuantificación del riesgo.

Tabla 22. *Matriz de Probabilidad e Impacto*

|              |          | Impacto  |      |       |      |          |      |      |
|--------------|----------|----------|------|-------|------|----------|------|------|
|              |          | Muy bajo | Bajo | Medio | Alto | Muy alto |      |      |
|              |          | A        | B    | C     | D    | E        |      |      |
|              |          | 0,15     | 0,3  | 0,45  | 0,6  | 1        |      |      |
| Probabilidad | Muy baja | A        | 0,1  | 0,02  | 0,03 | 0,05     | 0,06 | 0,10 |
|              | Baja     | B        | 0,3  | 0,05  | 0,09 | 0,14     | 0,18 | 0,30 |
|              | Media    | C        | 0,5  | 0,08  | 0,15 | 0,23     | 0,30 | 0,50 |
|              | Alta     | D        | 0,7  | 0,11  | 0,21 | 0,32     | 0,42 | 0,70 |
|              | Muy alta | E        | 0,9  | 0,14  | 0,27 | 0,41     | 0,54 | 0,90 |

Fuente: *Elaboración propia a partir de (García, 2021b)*

Ahora es necesario realizar la priorización en función del valor obtenido del riesgo (probabilidad x impacto = riesgo). De acuerdo con estos valores los riesgos se pueden priorizar en cinco categorías (tabla 23).

Tabla 23. *Priorización en función del riesgo.*

| Código | Riesgo                | Ponderación | Priorización | Color |
|--------|-----------------------|-------------|--------------|-------|
| A      | 0,01 < Riesgo <= 0,09 | Muy baja    | A            |       |
| B      | 0,09 < Riesgo <= 0,30 | Baja        | B            |       |
| C      | 0,30 < Riesgo <= 0,50 | Media       | C            |       |
| D      | 0,50 < Riesgo <= 0,70 | Alta        | D            |       |
| E      | 0,70 < Riesgo <= 1    | Muy alta    | E            |       |

Fuente: *Elaboración propia.*

A continuación, a modo de exemplificación se realizará el cálculo respectivo del primer riesgo identificado para obtener su priorización:

Categoría: Técnicos

Sub categoría: Requisitos

Riesgo identificado: No contemplar todos los requisitos

Probabilidad: Baja (B); Impacto: Muy alto (E)

Riesgo = probabilidad x impacto = 0,3 x 1 = 0,3 (B)

Priorización: Baja (B)

En este caso, el primer riesgo tiene una prioridad baja, lo que indica que no es necesario destinar demasiados recursos para su respectivo control. Sin embargo, es recomendable no descuidar ningún aspecto del proyecto, pues esto podría alterar su consecución.

Para obtener la prioridad de los demás riesgos que se identificaron en este proyecto, se aplicó el mismo procedimiento (tabla 24).

Tabla 24. *Matriz de cuantificación y priorización de los riesgos.*

| Riesgo identificado  | Probabilidad | Impacto | Riesgo | Priorización |
|--|--------------|---------|--------|--------------|
| No contemplar todos los requisitos   | B            | E       | B      |              |
| Incompatibilidad entre los componentes que conforman la aplicación                         | B            | E       | B      |              |
| Complejidad en la creación de las funciones para análisis de datos                         | B            | C       | B      |              |
| Incorrecta implementación de los parámetros de seguridad en el desarrollo de la aplicación | B            | E       | B      |              |
| Recursos tecnológicos de hardware y software incompatibles                                 | C            | E       | C      |              |
| Incompatibilidad con ciertas versiones de Android o IOS                                    | C            | C       | B      |              |
| Errores con el servidor en la conexión entre la nube y la aplicación                       | D            | E       | A      |              |
| Errores con el servidor en la conexión a la base de datos de la aplicación                 | C            | C       | B      |              |
| Bajo rendimiento del funcionamiento de la aplicación                                       | B            | C       | B      |              |
| Error al ingresar a la aplicación  | A            | E       | B      |              |
| Error al cargar los videojuegos  | B            | E       | B      |              |
| Errores con la interfaz de la aplicación   | A            | C       | A      |              |

Tabla 24 (continuación). *Matriz de cuantificación y priorización de los riesgos.*

| Riesgo identificado  | Probabilidad | Impacto | Riesgo | Priorización |
|--|--------------|---------|--------|--------------|
| La aplicación no funciona en entorno offline   | C            | E       | C      |              |
| Diseño incompleto de la aplicación   | A            | C       | A      |              |
| Mala calidad en el diseño de las gráficas del videojuego   | A            | B       | A      |              |
| Mala estructuración de ventanas de la interfaz de la aplicación                                    | A            | A       | A      |              |
| No cumplir con los estándares de diseño de aplicaciones  | B            | C       | B      |              |
| Mala integración de los componentes desarrollados que conforman la aplicación                      | B            | E       | B      |              |
| Estructura de la base de datos errónea   | B            | D       | B      |              |
| Mala definición de parámetros para la red neuronal   | C            | E       | C      |              |
| Mala definición de parámetros para el algoritmo de <i>Maching Learning</i> y <i>Big Data</i>       | C            | E       | C      |              |
| Modificaciones del alcance a lo largo del desarrollo del proyecto                                  | A            | D       | A      |              |
| Incumplimiento con el cronograma planificado   | B            | D       | B      |              |
| Cambios en las fechas de presentación de entregables   | B            | C       | B      |              |
| Exceder los costes   | C            | D       | B      |              |
| Métricas de calidad inadecuadas  | B            | D       | B      |              |
| Evaluación de entregables mal definida   | B            | D       | B      |              |
| Disminución de recursos  | B            | E       | B      |              |
| Poco compromiso de los miembros del consorcio  | B            | D       | B      |              |
| Salida de un miembro del equipo  | B            | E       | B      |              |
| Comunicación deficiente  | B            | C       | B      |              |
| Pérdida de información de procesos   | C            | D       | B      |              |
| Datos erróneos   | B            | D       | B      |              |
| Bajo nivel de compromiso en la inversión de herramientas para rehabilitación de personas amputadas | C            | C       | B      |              |
| Pocas políticas relacionadas a la inclusión de personas con discapacidad física                    | C            | C       | B      |              |
| Baja demanda de la aplicación  | C            | D       | B      |              |
| División de los socios   | B            | E       | B      |              |
| Diferentes pensamientos sobre cómo se está llevando el proyecto                                    | B            | C       | B      |              |

Fuente: *Elaboración propia.*

#### 4.4.3 Respuesta a los riesgos

Después de conocer la prioridad de los riesgos identificados, es necesario dar una solución específica que permita mitigar cada riesgo que pueda darse durante el proyecto. A continuación, se detalla las acciones de mitigación para cada riesgo (tabla 25):

Tabla 25. *Acciones de mitigación a los riesgos del proyecto.*

| Riesgo identificado  | Acciones de mitigación   |
|--|--|
| No contemplar todos los requisitos   | Revisar periódicamente los requisitos necesarios para cumplir de manera óptima en el desarrollo de la aplicación             |
| Incompatibilidad entre los componentes que conforman la aplicación                         | Revisar y validar las características de las plataformas a utilizar en el desarrollo de la aplicación                        |
| Complejidad en la creación de las funciones para análisis de datos                         | Seguir los estándares establecidos para una correcta definición de funciones   |
| Incorrecta implementación de los parámetros de seguridad en el desarrollo de la aplicación | Identificar los accesos vulnerables a la aplicación en la etapa de desarrollo  |
| Recursos tecnológicos de hardware y software incompatibles                                 | Revisar y analizar las características y versiones del software y hardware a utilizar durante el levantamiento de requisitos |
| Incompatibilidad con ciertas versiones de Android o IOS                                    | Desarrollar la aplicación con la última tecnología de programación para lograr abarcar la mayoría de las versiones           |
| Errores con el servidor en la conexión entre la nube y la aplicación                       | Realizar varias pruebas de conexión en todas las etapas de desarrollo para determinar que si existe una conexión estable     |
| Errores con el servidor en la conexión a la base de datos de la aplicación                 | Realizar varias pruebas de conexión en todas las etapas de desarrollo para determinar que si existe una conexión estable     |
| Bajo rendimiento del funcionamiento de la aplicación                                       | Establecer, identificar y controlar continuamente todos los procesos de pruebas de la aplicación                             |
| Error al ingresar a la aplicación  | Revisar y validar procesos de acceso a la aplicación durante todas las etapas de su desarrollo                               |
| Error al cargar los videojuegos  | Revisar y validar procesos de acceso a los videojuegos durante todas las etapas de su desarrollo                             |
| Errores con la interfaz de la aplicación   | Revisar y validar las acciones de los elementos que conforman la interfaz visual de la aplicación                            |
| La aplicación no funciona en entorno offline   | Revisar, analizar y evaluar el funcionamiento de la aplicación en entornos en donde no exista conectividad a internet        |
| Diseño incompleto de la aplicación   | Revisar de manera periódica el cumplimiento de los requisitos de diseño de la aplicación                                     |
| Mala calidad en el diseño de las gráficas del videojuego                                   | Revisar y validar los elementos a utilizar en el desarrollo de los videojuegos   |

Tabla 25 (continuación). *Acciones de mitigación a los riesgos del proyecto.*

| Riesgo identificado  | Acciones de mitigación  |
|--|---|
| Mala estructuración de ventanas de la interfaz de la aplicación                                    | Revisar de manera periódica el cumplimiento de los requisitos de diseño de la aplicación                                    |
| No cumplir con los estándares de diseño de aplicaciones  | Revisar y cumplir los estándares establecidos para el diseño de aplicaciones  |
| Mala integración de los componentes desarrollados que conforman la aplicación                      | Definir una correcta estructura de desarrollo para todos los componentes que conforman la aplicación                        |
| Estructura de la base de datos errónea   | Revisar, evaluar y validar la estructura definida para la base de datos   |
| Mala definición de parámetros para la red neuronal   | Identificar y validar los parámetros para la correcta definición de la red neuronal   |
| Mala definición de parámetros para el algoritmo de <i>Maching Learning</i> y <i>Big Data</i>       | Identificar y validar los parámetros para la correcta definición del algoritmo de <i>Maching Learning</i> y <i>Big Data</i> |
| Modificaciones del alcance a lo largo del desarrollo del proyecto                                  | Monitorear de manera periódica y documentar el seguimiento realizado al proyecto  |
| Incumplimiento con el cronograma planificado   | Establecer procesos de control del cronograma mediante el cumplimiento y verificación de hitos.                             |
| Cambios en las fechas de presentación de entregables   | Monitorear de manera periódica y documentar el seguimiento realizado al proyecto  |
| Exceder los costes   | Monitorear, analizar y priorizar el control del presupuesto para mantener un gasto equilibrado                              |
| Métricas de calidad inadecuadas  | Analizar, evaluar y corregir la definición de las métricas del proyecto   |
| Evaluación de entregables mal definida   | Analizar, evaluar y corregir los parámetros de evaluación de los entregables  |
| Disminución de recursos  | Identificar, controlar y optimizar los recursos necesarios para continuar con el proyecto                                   |
| Poco compromiso de los miembros del consorcio  | Monitorear de manera periódica el trabajo de cada miembro del proyecto  |
| Salida de un miembro del equipo  | Monitorear de manera periódica el trabajo de cada miembro del proyecto  |
| Comunicación deficiente  | Analizar y evaluar el proceso de comunicación para determinar el momento en qué se pierde el flujo de información           |
| Pérdida de información de procesos   | Evaluar y mejorar los procesos de documentación del proyecto  |
| Datos erróneos   | Revisar y validar los datos en cada fase del desarrollo del proyecto  |
| Bajo nivel de compromiso en la inversión de herramientas para rehabilitación de personas amputadas | Monitorear de manera periódica y documentar las novedades   |

Tabla 25 (continuación). *Acciones de mitigación a los riesgos del proyecto.*

| Riesgo identificado   | Acciones de mitigación   |
|---|--|
| Pocas políticas relacionadas a la inclusión de personas con discapacidad física | Monitorear de manera periódica y documentar las novedades  |
| Baja demanda de la aplicación   | Diseñar y producir una aplicación de calidad acorde a las necesidades de la sociedad                     |
| División de los socios  | Elaborar y ejecutar estrategias dentro de la empresa que permitan la continuación del proyecto           |
| Diferentes pensamientos sobre cómo se está llevando el proyecto                 | Identificar, analizar y aclarar ideas específicas en reuniones para permitir la consecución del proyecto |

Fuente: *Elaboración propia.*

#### 4.4.4 Monitorización y control

Una vez identificados los riesgos y determinada sus respectivas acciones de mitigación es necesario definir mecanismos que permitan monitorizarlos. En este proyecto se utilizará el método de Análisis Modal de Fallos y Efectos (AMFE), pues permite estudiar los posibles fallos y priorizarlos para determinar el orden en el que debemos solventarlos (ESAN, 2020). Este método se empleará para evaluar las prioridades de los riesgos, mediante la generación de un numero de prioridad del riesgo (NPR) en función de los siguientes parámetros (tablas 26-29):

##### Severidad (o gravedad) del riesgo

Tabla 26. *Matriz AMFE: Parámetro Severidad.*

| Severidad | Característica  | Valor |
|-----------|---|-------|
| Muy baja  | No es necesario hacer modificaciones a los objetivos del proyecto | 1     |
| Baja      | Modificaciones menores a conceptos existentes son necesarias      | 2     |
| Moderada  | Cambios reconocibles a los conceptos iniciales del proyecto       | 3     |
| Alta      | Modificaciones significativas a los conceptos existentes          | 4     |
| Muy alta  | Nuevos conceptos y existen pocas alternativas                     | 5     |

Fuente: *Elaboración propia a partir de (García, 2021a).*

##### Probabilidad del riesgo

Tabla 27. *Matriz AMFE: Parámetro Probabilidad.*

| Probabilidad | Característica                           | Valor |
|--------------|--|-------|
| Muy baja     | Casi improbable que ocurra, pero posible | 1     |
| Baja         | Relativamente improbable que ocurra      | 2     |
| Moderada     | Bastante posible                         | 3     |
| Alta         | Más probable que ocurra que no ocurra    | 4     |
| Muy alta     | Muy probable que ocurra                  | 5     |

Fuente: *Elaboración propia a partir de (García, 2021a).*

### Impacto del riesgo

Tabla 28. *Matriz AMFE: Parámetro Impacto.*

| Impacto      | Característica  | Valor |
|--------------|---|-------|
| Específico   | El riesgo solo afecta a una tarea del proyecto  | 1     |
| Limitado     | Implica varias tareas o grupos de tareas del proyecto, pero no su relación entre ellas          | 2     |
| Generalizado | Afecta el éxito del proyecto en general y requiere que se tomen acciones en tareas relacionadas | 3     |

Fuente: *Elaboración propia a partir de (García, 2021a).*

### Importancia del riesgo

Tabla 29. *Matriz AMFE: Parámetro Importancia.*

| Importancia | Característica  | Valor |
|-------------|---|-------|
| Muy baja    | No es importante si el proyecto puede entregar sus resultados satisfactoriamente, incluso si el evento ocurre | 1     |
| Baja        | Es importante si el proyecto puede entregar los resultados, aunque ocurre el evento, pero puede perder valor  | 2     |
| Moderada    | Muy importante cuando el proyecto puede entregar resultados, pero con una pérdida significativa del valor     | 3     |
| Alta        | Fundamental, el proyecto puede entregar resultados, pero con mucha pérdida de valor                           | 4     |
| Muy alta    | Fundamental, significa que el proyecto no puede entregar resultados   | 5     |

Fuente: *Elaboración propia a partir de (García, 2021a).*

El cálculo del número de prioridad del riesgo (NPR) se lo realiza mediante la siguiente fórmula:

$$\text{NPR} = \text{Severidad} * \text{Probabilidad} * \text{Impacto} * \text{Importancia}$$

Asimismo, se debe tener en cuenta que el NPR ayuda al proyecto a priorizar sus actividades, con base a los 3 grupos en los que se clasifican los riesgos (tabla 30):

Tabla 30. *Clasificación del riesgo según su NPR.*

| Grupo | NPR                       | Descripción   | Etiqueta |
|-------|---------------------------|---|----------|
| 3     | $\text{NPR} > 30$         | Riesgos serios, atención particular                     | Roja     |
| 2     | $15 < \text{NPR} \leq 30$ | Riesgos menos serios, pero importantes (monitorización) | Naranja  |
| 1     | $\text{NPR} \leq 15$      | Riesgos de prioridad menor                              | Verde    |

Fuente: *Elaboración propia a partir de (García, 2021a).*

Para garantizar una buena gestión de los riesgos se monitorizarán de manera periódica mensual. Además, una vez que se haya aplicado el plan de contingencia, es necesario mantener la evaluación de la prioridad del riesgo.

Finalmente, se presenta un resumen de los riesgos identificados del proyecto, los cuales están numerados y ordenados de acuerdo con la prioridad obtenida previo a un análisis exhaustivo. A continuación, se detalla cada uno de ellos (tabla 31):

Tabla 31. Resumen de riesgos del proyecto.

| Nº  | Riesgo identificado  | P | I | R | Pr | Mitigación   |
|-----|--|---|---|---|----|--|
| R1  | Recursos tecnológicos de hardware y software incompatibles                                   | C | E | C |    | Revisar y analizar las características y versiones del software y hardware a utilizar durante el levantamiento de requisitos |
| R2  | La aplicación no funciona en entorno offline   | C | E | C |    | Revisar, analizar y evaluar el funcionamiento de la aplicación en entornos en donde no exista conectividad a internet        |
| R3  | Mala definición de parámetros para la red neuronal   | C | E | C |    | Identificar y validar los parámetros para la correcta definición de la red neuronal  |
| R4  | Mala definición de parámetros para el algoritmo de <i>Maching Learning</i> y <i>Big Data</i> | C | E | C |    | Identificar y validar los parámetros para la correcta definición del algoritmo de <i>Maching Learning</i> y <i>Big Data</i>  |
| R5  | No contemplar todos los requisitos   | B | E | B |    | Revisar periódicamente los requisitos necesarios para cumplir de manera óptima en el desarrollo de la aplicación             |
| R6  | Incompatibilidad entre los componentes que conforman la aplicación                           | B | E | B |    | Revisar y validar las características de las plataformas a utilizar en el desarrollo de la aplicación                        |
| R7  | Complejidad en la creación de las funciones para análisis de datos                           | B | C | B |    | Seguir los estándares establecidos para una correcta definición de funciones   |
| R8  | Incorrecta implementación de los parámetros de seguridad en el desarrollo de la aplicación   | B | E | B |    | Identificar los accesos vulnerables a la aplicación en la etapa de desarrollo  |
| R9  | Incompatibilidad con ciertas versiones de Android o IOS                                      | C | C | B |    | Desarrollar la aplicación con la última tecnología de programación para lograr abarcar la mayoría de las versiones           |
| R10 | Errores con el servidor en la conexión a la base de datos de la aplicación                   | C | C | B |    | Realizar varias pruebas de conexión en todas las etapas de desarrollo para determinar que si existe una conexión estable     |

Tabla 31 (continuación). *Resumen de riesgos del proyecto.*

| Nº  | Riesgo identificado   | P | I | R | Pr | Mitigación   |
|-----|---|---|---|---|----|--|
| R11 | Bajo rendimiento del funcionamiento de la aplicación                          | B | C | B |    | Establecer, identificar y controlar continuamente todos los procesos de pruebas de la aplicación     |
| R12 | Error al ingresar a la aplicación   | A | E | B |    | Revisar y validar procesos de acceso a la aplicación durante todas las etapas de su desarrollo       |
| R13 | Error al cargar los videojuegos   | B | E | B |    | Revisar y validar procesos de acceso a los videojuegos durante todas las etapas de su desarrollo     |
| R14 | No cumplir con los estándares de diseño de aplicaciones                       | B | C | B |    | Revisar y cumplir los estándares establecidos para el diseño de aplicaciones                         |
| R15 | Mala integración de los componentes desarrollados que conforman la aplicación | B | E | B |    | Definir una correcta estructura de desarrollo para todos los componentes que conforman la aplicación |
| R16 | Estructura de la base de datos errónea  | B | D | B |    | Revisar, evaluar y validar la estructura definida para la base de datos                              |
| R17 | Incumplimiento con el cronograma planificado                                  | B | D | B |    | Establecer procesos de control del cronograma mediante el cumplimiento y verificación de hitos.      |
| R18 | Cambios en las fechas de presentación de entregables                          | B | C | B |    | Monitorear de manera periódica y documentar el seguimiento realizado al proyecto                     |
| R19 | Exceder los costes  | C | D | B |    | Monitorear, analizar y priorizar el control del presupuesto para mantener un gasto equilibrado       |
| R20 | Métricas de calidad inadecuadas   | B | D | B |    | Analizar, evaluar y corregir la definición de las métricas del proyecto                              |
| R21 | Evaluación de entregables mal definida  | B | D | B |    | Analizar, evaluar y corregir los parámetros de evaluación de los entregables                         |
| R22 | Disminución de recursos   | B | E | B |    | Identificar, controlar y optimizar los recursos necesarios para continuar con el proyecto            |
| R23 | Poco compromiso de los miembros del consorcio                                 | B | D | B |    | Monitorear de manera periódica el trabajo de cada miembro del proyecto                               |
| R24 | Salida de un miembro del equipo   | B | E | B |    | Monitorear de manera periódica el trabajo de cada miembro del proyecto                               |

Tabla 31 (continuación). *Resumen de riesgos del proyecto.*

| Nº  | Riesgo identificado  | P | I | R | Pr | Mitigación   |
|-----|--|---|---|---|----|--|
| R25 | Comunicación deficiente  | B | C | B |    | Analizar y evaluar el proceso de comunicación para determinar el momento en qué se pierde el flujo de información        |
| R26 | Pérdida de información de procesos   | C | D | B |    | Evaluar y mejorar los procesos de documentación del proyecto   |
| R27 | Datos erróneos   | B | D | B |    | Revisar y validar los datos en cada fase del desarrollo del proyecto   |
| R28 | Bajo nivel de compromiso en la inversión de herramientas para rehabilitación de personas amputadas | C | C | B |    | Monitorear de manera periódica y documentar las novedades  |
| R29 | Pocas políticas relacionadas a la inclusión de personas con discapacidad física                    | C | C | B |    | Monitorear de manera periódica y documentar las novedades  |
| R30 | Baja demanda de la aplicación  | C | D | B |    | Diseñar y producir una aplicación de calidad acorde a las necesidades de la sociedad                                     |
| R31 | División de los socios   | B | E | B |    | Elaborar y ejecutar estrategias dentro de la empresa que permitan la continuación del proyecto                           |
| R32 | Diferentes pensamientos sobre cómo se está llevando el proyecto                                    | B | C | B |    | Identificar, analizar y aclarar ideas específicas en reuniones para permitir la consecución del proyecto                 |
| R33 | Errores con el servidor en la conexión entre la nube y la aplicación                               | D | E | A |    | Realizar varias pruebas de conexión en todas las etapas de desarrollo para determinar que si existe una conexión estable |
| R34 | Errores con la interfaz de la aplicación   | A | C | A |    | Revisar y validar las acciones de los elementos que conforman la interfaz visual de la aplicación                        |
| R35 | Diseño incompleto de la aplicación   | A | C | A |    | Revisar de manera periódica el cumplimiento de los requisitos de diseño de la aplicación                                 |
| R36 | Mala calidad en el diseño de las gráficas del videojuego   | A | B | A |    | Revisar y validar los elementos a utilizar en el desarrollo de los videojuegos   |
| R37 | Mala estructuración de ventanas de la interfaz de la aplicación                                    | A | A | A |    | Revisar de manera periódica el cumplimiento de los requisitos de diseño de la aplicación                                 |
| R38 | Modificaciones del alcance a lo largo del desarrollo del proyecto                                  | A | D | A |    | Monitorear de manera periódica y documentar el seguimiento realizado al proyecto   |

Fuente: *Elaboración propia.*

Nota: P = Probabilidad; I = Impacto; R = Riesgo; Pr = Priorización.

## 4.5 Plan de calidad

Uno de los factores importantes para determinar el éxito de un proyecto es su calidad, por ello es necesario crear un plan de calidad para asegurar la calidad tanto en la gestión, así como también en la realización del proyecto. A continuación, se describe los elementos del plan de calidad:

### 4.5.1 Objetivos del Plan de calidad

- Garantizar que se cumplan con los criterios de calidad.
- Proveer de un documento de referencia que facilite el desarrollo del proyecto.
- Brindar conformidad en todas las partes interesadas de que el proyecto ha culminado de manera exitosa.

### 4.5.2 Alcance del Plan de calidad

El plan de calidad indicará los estándares, normas y acciones necesarias para que la gestión del proyecto y el desarrollo de la aplicación móvil sea de manera eficiente, logrando obtener entregables que cumplan con las expectativas de todos los miembros del proyecto, asimismo respetando el presupuesto y los recursos planificados.

### 4.5.3 Establecimiento de las métricas de calidad

Es de suma importancia establecer las métricas de calidad que serán consideradas en el proyecto, con la finalidad de asegurar la calidad de éste y también para que todos los involucrados en el desarrollo del proyecto tengan claro cuáles son los indicadores y cómo se van a medir. En la tabla 32 se detallan las métricas de calidad que se han definido para este proyecto:

Tabla 32. *Métricas de calidad del proyecto.*

| INDICADORES DE CALIDAD DE GESTIÓN             |    |   |                       |
|---|----|---|-----------------------|
| Tipo  | ID | Descripción de la métrica                                       | Valor mínimo esperado |
| Ct  | 1  | Cantidad de entregables entregados en plazo                     | 100%                  |
| Ct  | 2  | Cantidad de hitos cumplidos                                     | 100%                  |
| Cl  | 3  | Adaptación de las herramientas de gestión usadas en el proyecto | Bueno                 |
| Ct  | 4  | Cumplimiento de la planificación del proyecto                   | 95%                   |
| Ct  | 5  | Cumplimiento del presupuesto del proyecto                       | 90%                   |
| INDICADORES DE CALIDAD DE LA APLICACIÓN MÓVIL |    |   |                       |
| Tipo  | ID | Descripción de la métrica                                       | Valor mínimo esperado |
| Cl  | 1  | Experiencia de usuario  | Bueno                 |
| Cl  | 2  | Funcionalidad   | Bueno                 |
| Ct  | 3  | Rendimiento y estabilidad                                       | 90%                   |
| Ct  | 4  | Privacidad y seguridad  | 100%                  |

Tabla 32 (continuación). *Métricas de calidad del proyecto.*

| INDICADORES DE CALIDAD DE LA APLICACIÓN MÓVIL |    |  |                       |
|---|----|--|-----------------------|
| Tipo  | ID | Descripción de la métrica  | Valor mínimo esperado |
| Ct  | 5  | Cumplimiento de estándar para tiendas de aplicaciones móviles        | 100%                  |
| Ct  | 6  | Efectividad y eficiencia   | 100%                  |
| Ct  | 7  | Compatibilidad   | 90%                   |
| Cl  | 8  | Portabilidad (peso de la aplicación)                                 | Bueno                 |
| Ct  | 9  | Interoperabilidad  | 100%                  |
| Ct  | 10 | Transmisión de datos en tiempo real                                  | 100%                  |
| Cl  | 11 | Sistema de autenticación e identificación                            | Muy bueno             |
| Ct  | 12 | Capacidad de conectividad entre la aplicación y la base de datos     | 100%                  |
| Cl  | 13 | Diseño <i>responsive</i>   | Muy bueno             |
| Ct  | 14 | Aceptación y credibilidad de la aplicación por parte de los usuarios | 80%                   |
| Ct  | 15 | Capacidad de trabajo de la aplicación de manera offline              | 100%                  |

Fuente: *Elaboración propia.*

Nota 1: Siendo, Ct: Cuantitativo; Cl: Cualitativo.

Nota 2: Indicadores cualitativos: Muy bueno, bueno, regular, malo, muy malo.

#### 4.5.4 Proceso de producción de entregables

El proceso de producción de entregables es muy importante, pues su finalidad principal es establecer criterios que permitan producir la documentación del proyecto que cumpla con la calidad esperada.

Asimismo, es importante adjuntar la “Ficha de control de documentos” junto a cada entregable/documento que se genere en el proyecto. La plantilla que debe utilizarse como modelo se encuentra en el apartado de anexo 1, esta permitirá llevar un control sobre los entregables. También es necesario definir un sistema de codificación para los documentos generados del proyecto, en este caso se utilizarán los campos que se detallan en el anexo 2; y la estructura que deberán tener los entregables/documentos es la siguiente:

- Parte I - Portada
- Parte II - Tabla de contenidos
- Parte III - Introducción
- Parte IV - Desarrollo
- Parte V - Conclusiones
- Parte VI - Anexos

#### 4.5.5 Proceso de revisión de entregables

Es importante que en el Plan de calidad se incluya un proceso para la revisión de los entregables, con la finalidad de que dicha revisión se realice de manera eficiente y organizada.

Asimismo, el entregable/documento debe pasar por varios filtros de revisión antes de entregar la versión final. A continuación, se indica los criterios científicos (tabla 33), así como los de forma (tabla 34):

Tabla 33. *Criterios científicos.*

| Criterios científicos |  |
|-----------------------|--|
| Relevancia            | Evaluar si los temas tratados son realmente relevantes para el proyecto.       |
| Grado de compleción   | Analizar si todos los temas del entregable se han cubierto de manera adecuada. |
| Grado de detalle      | Evaluar si el grado de detalle del contenido es el adecuado.                   |
| Novedad               | Evaluar si existen nuevos enfoques o problemas presentados en el entregable.   |
| Solidez de argumentos | Comprobar que las conclusiones estén bien fundamentadas.                       |
| Consistencia          | Revisar que no aparezcan inconsistencias en su contenido.                      |

*Fuente: Elaboración propia.*

Tabla 34. *Criterios de forma.*

| Criterios de forma      |  |
|-------------------------|--|
| Legibilidad             | Estructura lingüística del documento que permite leer el contenido y comprenderlo con facilidad. |
| Terminología            | Explicación adecuada de todos los términos específicos (incluir un glosario de ser necesario).   |
| Definición de conceptos | Definición clara de nuevos conceptos.  |
| Estructura              | Estructura coherente de todos los elementos del documento.                                       |
| Presentación            | Demostración de profesionalidad en el formato y apariencia física del documento.                 |
| Estandarización         | Apariencia y estructura uniforme en todos los documentos del proyecto.                           |

*Fuente: Elaboración propia.*

Todos estos criterios se evaluarán con la escala de Likert con valores de 1 al 5, según: 1 = pésimo, 2 = malo, 3 = regular, 4 = bueno y 5 = excelente, estos se tendrán en cuenta cuando se utilice la plantilla “Ficha de revisión de documentos”, la cual se encuentra en el apartado de anexo 3.

Para la revisión de los entregables se seguirá los siguientes pasos:

- 1) Identificar al autor del documento y a dos revisores para cada entregable.
- 2) Entregar el documento/entregable una vez finalizada la actividad.

- 3) Los revisores tendrán tres días para la evaluación del contenido y formato del documento (“Ficha de revisión de documentos”).
- 4) Corrección del documento por parte del autor con base a los comentarios de los revisores en un plazo de una semana.
- 5) El director del proyecto enviará el documento/entregable a los interesados.

#### 4.5.6 Proceso de monitorización y evaluación de la calidad

La evaluación de los indicadores de calidad es muy importante, por lo tanto, es necesario seguir una estrategia que permita dar seguimiento y evaluar la calidad del proyecto, teniendo así las siguientes acciones a realizar para lograr este fin:

- Una vez que las métricas ya estén definidas es necesario empezar a recoger datos, para esto se debe apoyar de plantillas, éstas pueden ser creadas con la herramienta Excel.
- Realizar un proceso de análisis de datos periódicamente, en este caso se lo realizaría dos veces por mes, puesto que el proyecto durará un año.
- Documentar de manera correcta los resultados del análisis y la revisión periódica mediante un informe periódico de resultados de la gestión del proyecto.
- Con los datos recopilados (VR) se debe realizar una comparación con los valores mínimos que se van a aceptar (VMA) y establecer el grado de desviación respecto al valor mínimo aceptable (VMA) mediante un código de color que facilite la visualización de los elementos críticos, en este caso sería: verde (bien), amarillo (regular) y rojo (mal); mediante el siguiente modelo para la evaluación de la calidad (tabla 35):

Tabla 35. *Modelo para la evaluación de la calidad.*

| Criterio                 | Fórmula            | Desviación | Color |
|--------------------------|--------------------|------------|-------|
| $VR \geq MVA$            | $X \geq Y$         | Verde      | Verde |
| $MVA > VR \geq 90\% MVA$ | $Y > X \geq 0.9 Y$ | Ámbar      | Ámbar |
| $VR < 90\% MVA$          | $X < 0.9 Y$        | Rojo       | Rojo  |

Fuente: *Elaboración propia.*

- Finalmente, en función de los colores obtenidos, estos resultados se asocian a recomendaciones respecto a la calidad de los resultados del proyecto, teniendo así los siguientes casos posibles de recomendaciones: el proyecto puede continuar (verde), el proyecto necesita una revisión para su continuación (amarillo) y el proyecto debe parar y se debe desarrollar un plan de contingencia (rojo).

## 4.6 Plan de comunicaciones

La comunicación y colaboración asegura la correcta ejecución del proyecto. En este apartado se establecerá los medios y plataformas que permitirán la comunicación, colaboración y el formato de las reuniones que se llevarán a cabo durante el desarrollo del proyecto.

### 4.6.1 Medios de comunicación

Actualmente existen muchos medios y herramientas que facilitan la comunicación e intercambio de información entre los interesados del proyecto. Es necesario que todos los interesados del proyecto conozcan cuáles serán los medios permitidos para el intercambio de información, los cuales son:

- *Teléfono*: Se utilizará cuando se requiera una respuesta inmediata y sea una urgencia, por lo tanto, solo se utilizará como último recurso.
- *Correo electrónico*: Se empleará cuando se requiera realizar intercambio de información no crítica, por lo tanto, se utilizará de manera informal permitiendo comunicaciones rápidas.
- *Audio y video conferencias*: Se utilizará cuando haya que realizar reuniones con los interesados del proyecto, por lo tanto, se utilizará con el fin de evitar gastos innecesarios por movilización.
- *Herramientas de mensajería instantánea*: Se utilizará para compartir mensajes informales e información de manera colectiva o individual.

A continuación, en la tabla 36 se listan los números y direcciones de correo de los registrados para el proyecto:

Tabla 36. *Medios de comunicación a utilizarse en el proyecto.*

| Medio de Comunicación  | Responsable              | Contacto         |
|------------------------|--------------------------|------------------|
| Teléfono               | Director del proyecto    | +593 9X XXX XXXX |
|                        | Coordinador del proyecto | +39 9X XXX XXXX  |
| Correo electrónico     | Director del proyecto    | xxxx@xxxx.com    |
|                        | Coordinador del proyecto | xxxx@xxxx.com    |
|                        | Líder del socio 1        | xxxx@xxxx.com    |
|                        | Líder del socio 2        | xxxx@xxxx.com    |
|                        | Líder del socio 3        | xxxx@xxxx.com    |
|                        | Líder del socio 4        | xxxx@xxxx.com    |
| Videoconferencia       | Director del proyecto    | Cisco Webex      |
| Mensajería instantánea | Director del proyecto    | Grupo WhatsApp   |

Fuente: *Elaboración propia.*

#### 4.6.2 Plataformas y herramientas de colaboración

Es sumamente importante contar con herramientas y plataformas de colaboración que permitan compartir información entre las personas del equipo de gestión y del equipo de desarrollo. Las características principales de éstas deben ser las siguientes: fiables, privadas y sencillas de usar. Las herramientas que se van a usar para este proyecto son:

- *Cisco Webex*: Se empleará esta aplicación para realizar video conferencias. Esta herramienta permite conectarse a través de una computadora, así como también de un dispositivo móvil.
- *JIRA*: Se empleará esta herramienta para la gestión de las actividades del proyecto, permitiendo saber a más detalle el estado de éstas.
- *Slack*: Se empleará la aplicación de mensajería para el intercambio de información informal del proyecto de manera sencilla y legible.
- *Dropbox*: Se empleará esta herramienta para el intercambio de documentación del proyecto de manera eficiente.

#### 4.6.3 Reuniones

Se realizará una serie de reuniones a lo largo del proyecto, con el fin de dar seguimiento y una buena gestión del proyecto. En estas reuniones se tratará sobre asuntos importantes para la gestión de la calidad y los riesgos del proyecto. Estas reuniones estarán previamente agendadas y al finalizar se debe realizar la entrega del acta de la reunión tanto a los integrantes que asistieron, así como también a los asistentes que no pudieron asistir, con la finalidad de que todos estén al tanto de los temas tratados. La plantilla para el “Acta de reunión” se encuentra en el apartado de anexo 4 y en la tabla 37 se detalla la estructura que tendrán las reuniones:

Tabla 37. *Estructura de las reuniones.*

| Participantes                             | Objetivo   | Periodicidad |
|---|--|--------------|
| Director y coordinador del proyecto       | Revisión y evaluación del desarrollo del proyecto.   | Bimensual    |
| Representantes de cada socio del proyecto | Reporte del avance de la implementación del proyecto y revisión de los recursos asignados. | Bimensual    |
| Líderes de los paquetes de trabajo        | Evaluación y seguimiento de las actividades.   | Mensual      |

Fuente: *Elaboración propia.*

Es necesario indicar en todas las reuniones previo al inicio de esta, cuáles serán los roles de las personas que intervendrán en la reunión. Para este proyecto se tendrán los siguientes roles:

- *Moderador*: Se encargará de dirigir la reunión, teniendo en cuenta sus objetivos y puntos a tratar.
- *Facilitador*: Se encargará de toda la organización (incluida parte logística) de la reunión.
- *Secretario*: Se encargará de registrar todos los puntos tratados en la reunión y generar el acta de la reunión a su finalización.
- *Participantes*: Son todos los integrantes que asistan a la reunión, estos son los encargados de generar ideas y tomar decisiones.

## 4.7 Plan de diseminación, comunicación y explotación

La aplicación de rehabilitación muscular para amputación transradial mediante videojuegos utilizando señales electromiográficas involucra tecnología e innovación como pilar fundamental en su desarrollo, por lo tanto, es imprescindible establecer un plan de diseminación y explotación. Las principales empresas a las cuales se apunta con la gestión de diseminación y el aprovechamiento del resultado del desarrollo del proyecto son todas aquellas enmarcadas en la salud, específicamente en el área de rehabilitación muscular; ya sean estas dedicadas a la fabricación de dispositivos médicos o a brindar servicios de fisioterapia. A continuación, se detalla el plan de diseminación y explotación:

### 4.7.1 Plan de diseminación y comunicación

#### Objetivos del Plan

- Promover todos los beneficios del proyecto.
- Generar una activa interacción con expertos y distintos actores para recibir comentarios y reacciones sobre el proyecto.
- Obtener la opinión del público objetivo.
- Definir el conocimiento explotable y su respectivo uso.

#### Acciones para realizar

- Investigar sobre las redes de todos los socios e identificar sus mecanismos de divulgación (canales y público objetivo).
- Revisar y actualizar el plan en función de los avances.
- Desarrollar una identidad corporativa del proyecto (logotipo).
- Mantener un registro de los eventos de difusión.
- Realizar informes periódicos sobre las actividades de difusión.

### Canales para la diseminación y comunicación del proyecto

En la tabla 38 se describe los canales definidos para la correcta ejecución del plan de diseminación del proyecto.

Tabla 38. *Canales para la diseminación del proyecto.*

| Canales   | Público objetivo  | Indicadores  |  |
|---|---|--|--|
|   |   | KPI  | Indicador de éxito   |
| Conferencias, eventos y seminarios                        | Organizaciones públicas y privadas de la salud e instituciones académicas | Nº de eventos y seminarios webs participados por el proyecto | El proyecto se presentará en al menos 2 eventos/seminarios importantes de difusión para llegar a sus partes interesadas.   |
|   |   | Nº de conferencias científicas                               | El proyecto realizará 1 seminario web en línea   |
| Publicaciones en revistas y artículos revisados por pares | Comunidad científica  | Nº de publicaciones  | El proyecto publicará al menos en las siguientes 4 revistas:<br>- Reseñas actuales en medicina musculoesquelética <sup>27</sup><br>- Juegos serios de JMIR <sup>28</sup><br>- Revista Internacional de Evaluación Tecnológica en el Cuidado de la Salud <sup>29</sup><br>- Prótesis y Ortesis Internacional <sup>30</sup><br>Y al menos en las siguientes 2 conferencias:<br>- Conferencia internacional sobre juegos serios y aplicaciones para la salud <sup>31</sup><br>- Conferencia internacional sobre eSalud y dispositivos sanitarios de autosupervisión <sup>32</sup> |
|   |   | Nº de artículos revisados por pares                          | El proyecto obtendrá por lo menos 4 artículos revisados por pares  |
| Materiales colaterales de marketing                       | Organizaciones relacionadas a la salud y usuarios                         | Nº de folletos producidos                                    | El proyecto distribuirá 3 diferentes folletos durante su ciclo de vida   |
|   |   | Nº de comunicados de prensa                                  | Se realizará al menos 3 comunicados de prensa durante el ciclo de vida del proyecto  |

<sup>27</sup> <https://www.springer.com/journal/12178>

<sup>28</sup> <https://games.jmir.org>

<sup>29</sup> <https://htai.org/about-htai/ijtahc>

<sup>30</sup> <https://journals.sagepub.com/home/poi>

<sup>31</sup> <https://www.segah.org/2021>

<sup>32</sup> <https://waset.org/ehealth-and-self-monitoring-healthcare-devices-conference>

Tabla 38 (continuación). *Canales para la diseminación del proyecto.*

| Canales                             | Público objetivo                                | Indicadores   |  |
|-------------------------------------|---|---|--|
|                                     |   | KPI   | Indicador de éxito   |
| Materiales colaterales de marketing | Organizaciones relacionas a la salud y usuarios | Nº de videos producidos para demostración               | Se realizará al menos 2 videos durante el ciclo de vida del proyecto.                  |
| Medios de comunicación social       | Público en general                              | Presencia del proyecto en medios de comunicación social | El proyecto tendrá presencia en LinkedIn y Twitter                                     |
| Medios de comunicación social       | Público en general                              | Nº de publicaciones sobre el proyecto en redes sociales | El proyecto contribuirá con continua información durante su ciclo de vida              |
| Boletín informativo                 | Organizaciones públicas y privadas de la salud  | Nº de boletines informativos                            | El proyecto producirá y distribuirá 2 boletines informativos durante su ciclo de vida. |
| Sitio Web                           | Usuarios y público en general                   | Nº de visitas   | El proyecto obtendrá un promedio de 700 visitas por cada seis meses                    |
|                                     |   | Tiempo promedio en el sitio web                         | El 30% de los usuarios pasará más de 2 minutos en el sitio web                         |

Fuente: *Elaboración propia.*

Nota: KPI (Indicador clave de rendimiento).

#### 4.7.2 Plan de explotación

##### Objetivos del Plan

El plan de explotación tiene como objetivo principal establecer las acciones pertinentes para hacer de esta iniciativa un proyecto exitoso y sostenible. Y a su vez tiene los siguientes objetivos específicos:

- Establecer las responsabilidades de los socios respecto al plan explotación.
- Comunicar los posibles resultados explotables a todas las partes interesadas sobre el desarrollo del proyecto.
- Identificar las fórmulas más efectivas para la explotación de los resultados del proyecto.

##### Responsabilidades

La empresa Techlde como líder del paquete de trabajo 8 (WP8) será responsable de la elaboración e implementación del plan de explotación del proyecto. Sin embargo, los demás socios del proyecto también deben contribuir en la elaboración del entregable y en las acciones relativas al plan de explotación.

### Niveles de explotación

El plan de explotación se implementará en tres niveles estratégicos, con la finalidad de asegurar una explotación exitosa y sostenible del proyecto, los cuales son: Local, Nacional y Regional.

### Resultados explotables

La aplicación de rehabilitación muscular para amputación transradial mediante videojuegos utilizando señales electromiográficas puede ser explotada a gran escala ya que es una aplicación móvil que tiene varias funcionalidades que permiten realizar el entrenamiento pre-protésico, así como también evaluar y monitorear el avance del paciente; mejorando de manera eficiente la calidad de vida de las personas con amputación transradial.

### Fórmula de explotación

El uso de la aplicación móvil propuesta en este proyecto se define como una transferencia de resultados de manera directa, indirecta y de investigación, por lo que existe varias fórmulas que pueden ser consideradas para la explotación de los resultados del proyecto. A continuación, se describe cada una de ellas:

La explotación directa consiste en una transferencia completa de la aplicación móvil, para ello se ha considerado dos opciones. Por una parte, la empresa OT Bioelectrónica socio del proyecto realizará la comercialización de su dispositivo de sensorizado en conjunto con la aplicación desarrollada brindando un producto completo para el uso de las personas con amputación transradial que requieran rehabilitación muscular. Por otra parte, se realiza la creación de un Spin-Off que permitirá crear una tercera empresa de conformación mixta que incluirá una parte interesada que no participó previamente en el desarrollo del proyecto pero que contará con capital y posicionamiento en el mercado.

La explotación indirecta consiste en la comercialización de la aplicación mediante licencias de uso de la aplicación móvil distribuidas por medio de la plataforma Google Play o App Store, para ello la transferencia de uso temporal para los usuarios se la haría en convenio con el Centro de rehabilitación de amputaciones MossRehab socio del proyecto para que sus fisioterapeutas sean los encargados de brindar el acompañamiento al tratamiento pre-protésico de los usuarios. Otra opción para la transferencia del uso temporal de la aplicación sería enfocarlo a empresas o entidades públicas o privadas relacionadas a la rehabilitación muscular para personas con amputación transradial de diferentes ciudades o países, lo cual generaría ingresos económicos para los socios del proyecto.

La información que se generará y registrará mediante la aplicación móvil podrá ser usada con fines investigativos en universidades que promuevan el desarrollo de nuevos aplicativos o dispositivos para mejorar la calidad de vida de las personas con discapacidad física, específicamente con amputación transradial.

### Acuerdos entre los socios

Para este proyecto se estipuló que los derechos de Propiedad Intelectual se dividirán entre los cuatro socios, por lo tanto, cada socio recibirá su parte correspondiente de las ganancias económicas obtenidas de la fórmula de explotación. Sin embargo, la empresa Techlde será quien tendrá los derechos legales para gestionar los diferentes trámites referentes a la Propiedad Intelectual obtenida del desarrollo de la aplicación móvil.

## 4.8 Presupuesto

La planificación de los costes del proyecto facilita una correcta utilización de los recursos, permitiendo que todas las actividades consideradas en el proyecto se ejecuten dentro de los plazos establecidos. A continuación, se detalla la planificación de todos los costes asociados al proyecto, incluyendo su presupuesto final:

### 4.8.1 Costes directos de personal

La planificación de los costes directos de personal se realizó teniendo en cuenta el sueldo medio mensual por país de cada uno de los socios en función de su participación y el % de desempeño en cada una de las tareas de los diferentes paquetes de trabajo (tablas 39-42).

Tabla 39. Costes directos de personal de TECH.

| TECH         |                  |                                       |      |                   |   |      |                   |   |      |                   |
|--------------|------------------|---------------------------------------|------|-------------------|---|------|-------------------|---|------|-------------------|
| WP           | Duración (meses) | Project Management Professional (PMP) |      |                   | Ingeniero en Sistemas Computacionales 1 |      |                   | Ingeniero en Sistemas Computacionales 2 |      |                   |
|              |                  | Sueldo medio (USD)                    | %    | Coste total (USD) | Sueldo medio (USD)                      | %    | Coste total (USD) | Sueldo medio (USD)                      | %    | Coste total (USD) |
| WP1          | 12               | 2.500                                 | 100% | 30.000            |   |      |                   |   |      |                   |
| WP2          | 2                |                                       |      |                   |   |      |                   |   |      |                   |
| WP3          | 2                |                                       |      |                   |   |      |                   | 1.200                                   | 15%  | 360               |
| WP4          | 5                |                                       |      |                   | 1.200                                   | 100% | 6.000             | 1.200                                   | 100% | 6.000             |
| WP5          | 3                |                                       |      |                   | 1.200                                   | 15%  | 540               |   |      |                   |
| WP6          | 2                |                                       |      |                   |   |      |                   |   |      |                   |
| WP7          | 4                |                                       |      |                   | 1.200                                   | 25%  | 1.200             | 1.200                                   | 25%  | 1.200             |
| WP8          | 12               | 2.500                                 | 20%  | 6.000             |   |      |                   |   |      |                   |
| <b>Total</b> |                  | 36.000 USD                            |      |                   | 7.740 USD                               |      |                   | 7.560 USD                               |      |                   |

Fuente: Elaboración propia.

Nota: El sueldo medio es mensual y el % es de desempeño en cada paquete de trabajo.

Tabla 40. Costes directos de personal de MOSRH.

| MOSRH        |                  |                            |             |                   |                              |             |                   |
|--------------|------------------|----------------------------|-------------|-------------------|------------------------------|-------------|-------------------|
| WP           | Duración (meses) | Especialista en Fisiatría  |             |                   | Especialista en Fisioterapia |             |                   |
|              |                  | Sueldo medio mensual (USD) | % Desempeño | Coste total (USD) | Sueldo medio mensual (USD)   | % Desempeño | Coste total (USD) |
| WP1          | 12               | 5.000                      | 20%         | 12.000            |                              |             |                   |
| WP2          | 2                | 5.000                      | 80%         | 8.000             | 3.000                        | 40%         | 2.400             |
| WP3          | 2                |                            |             |                   | 3.000                        | 20%         | 1.200             |
| WP4          | 5                | 5.000                      | 15%         | 3.750             | 3.000                        | 20%         | 3.000             |
| WP5          | 3                |                            |             |                   | 3.000                        | 20%         | 1.800             |
| WP6          | 2                |                            |             |                   | 3.000                        | 20%         | 1.200             |
| WP7          | 4                | 5.000                      | 35%         | 7.000             | 3.000                        | 35%         | 4.200             |
| WP8          | 12               | 5.000                      | 30%         | 18.000            |                              |             |                   |
| <b>Total</b> |                  | 48.750 USD                 |             |                   | 13.800 USD                   |             |                   |

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 41. Costes directos de personal de OTB.

| OTB          |                  |                              |     |                   |   |      |                   |                                    |      |                   |
|--------------|------------------|------------------------------|-----|-------------------|---|------|-------------------|------------------------------------|------|-------------------|
| WP           | Duración (meses) | Máster en Project Management |     |                   | Ingeniero en Ciencias de la Computación |      |                   | Máster en Arquitectura de Software |      |                   |
|              |                  | Sueldo medio (USD)           | %   | Coste total (USD) | Sueldo medio (USD)                      | %    | Coste total (USD) | Sueldo medio (USD)                 | %    | Coste total (USD) |
| WP1          | 12               | 2.800                        | 30% | 10.080            |   |      |                   |                                    |      |                   |
| WP2          | 2                |                              |     |                   | 2.400                                   | 15%  | 720               | 2.900                              | 15%  | 870               |
| WP3          | 2                |                              |     |                   | 2.400                                   | 100% | 4.800             | 2.900                              | 100% | 5.800             |
| WP4          | 5                |                              |     |                   | 2.400                                   | 15%  | 1.800             |                                    |      |                   |
| WP5          | 3                |                              |     |                   |   |      |                   |                                    |      |                   |
| WP6          | 2                |                              |     |                   | 2.400                                   | 30%  | 1.440             | 2.900                              | 30%  | 1.740             |
| WP7          | 4                |                              |     |                   | 2.400                                   | 25%  | 2.400             | 2.900                              | 25%  | 2.900             |
| WP8          | 12               | 2.800                        | 25% | 8.400             |   |      |                   |                                    |      |                   |
| <b>Total</b> |                  | 18.480 USD                   |     |                   | 11.160 USD                              |      |                   | 11.310 USD                         |      |                   |

Fuente: Elaboración propia.

Nota: El sueldo medio es mensual y el % es de desempeño en cada paquete de trabajo.

Tabla 42. Costes directos de personal de DCU.

| DCU          |                  |  |             |                   |                                  |             |                   |
|--------------|------------------|--|-------------|-------------------|----------------------------------|-------------|-------------------|
| WP           | Duración (meses) | Máster en Inteligencia Artificial Aplicada |             |                   | Máster en Soluciones de Big Data |             |                   |
|              |                  | Sueldo medio mensual (USD)                 | % Desempeño | Coste total (USD) | Sueldo medio mensual (USD)       | % Desempeño | Coste total (USD) |
| WP1          | 12               | 4.300                                      | 20%         | 10.320            |                                  |             |                   |
| WP2          | 2                |  |             |                   |                                  |             |                   |
| WP3          | 2                |  |             |                   |                                  |             |                   |
| WP4          | 5                |  |             |                   |                                  |             |                   |
| WP5          | 3                | 4.300                                      | 100%        | 12.900            | 4.000                            | 100%        | 12.000            |
| WP6          | 2                | 4.300                                      | 20%         | 1.720             | 4.000                            | 20%         | 1.600             |
| WP7          | 4                | 4.300                                      | 50%         | 8.600             | 4.000                            | 50%         | 8.000             |
| WP8          | 12               | 4.300                                      | 25%         | 12.900            |                                  |             |                   |
| <b>Total</b> |                  | 46.440 USD                                 |             |                   | 21.600 USD                       |             |                   |

Fuente: Elaboración propia.

#### 4.8.2 Otros costes directos

La planificación de los otros costes directos se realizó teniendo en cuenta viajes, dietas, equipamiento, otros bienes y servicios, tales como, licencias, tasas de inscripciones a conferencias y publicaciones en revistas (tablas 43-46).

Tabla 43. Otros costes directos de TECH.

| TECH                     | Costo (USD) | Justificación   |
|--------------------------|-------------|---|
| Viajes y dietas          | 1.200       | 1 Reunión anual con el consorcio en Filadelfia (vuelos, estancia, dietas). (1.200 USD)  |
| Equipamiento             | 4.500       | 3 Ordenadores. (1.500 USD x 3 = 4.500 USD)  |
| Otros bienes y servicios | 5.100       | 2 Licencias Pro de Unity para programar los videojuegos. (1.800 USD X 2 = 3.600 USD)<br>Tasa de registro de la patente. (1.500 USD) |
| <b>Total</b>             | 10.800 USD  |   |

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 44. Otros costes directos de MOSRH.

| MOSRH           | Costo (USD) | Justificación  |
|-----------------|-------------|--|
| Viajes y dietas | 2.200       | 1 Reunión anual con el consorcio en Filadelfia (vuelos, estancia, dietas). (1.200 USD)<br>1 Conferencia: Conferencia internacional sobre juegos serios y aplicaciones para la salud. (1.000 USD) |
| Equipamiento    | 3.000       | 2 Ordenadores. (1.500 USD x 2 = 3.000 USD)   |

Tabla 44 (continuación). *Otros costes directos de MOSRH.*

| MOSRH                           | Costo (USD) | Justificación   |
|---------------------------------|-------------|---|
| <b>Otros bienes y servicios</b> | 3.500       | Tasa de inscripción de la conferencia. (500 USD)<br>Publicación en la revista: Reseñas actuales en medicina musculoesquelética. (1.300 USD)<br>Publicación en la revista: Prótesis y Ortesis Internacional. (1.700 USD) |
| <b>Total</b>                    | 8.700 USD   |   |

Fuente: *Elaboración propia.*

Tabla 45. *Otros costes directos de OTB.*

| OTB                             | Costo (USD) | Justificación   |
|---------------------------------|-------------|---|
| <b>Viajes y dietas</b>          | 1.200       | 1 Reunión anual con el consorcio en Filadelfia (vuelos, estancia, dietas). (1.200 USD)  |
| <b>Equipamiento</b>             | 6.600       | 4 Dispositivos de sensorizado <i>DueLite</i> . (150 USD x 4 = 600 USD)<br>3 Ordenadores. (1.500 USD x 3 = 4.500 USD)<br>1 Servidor Azure SQL DataBase para alojar los datos de la aplicación. (1.500 USD) |
| <b>Otros bienes y servicios</b> | 1.055       | 2 Licencias del entorno de desarrollo interactivo <i>IntelliJ</i> para el desarrollo de la aplicación (500 x 2 = 1.000 USD)<br>1 Licencia para alojamiento de la aplicación móvil (55 USD)                |
| <b>Total</b>                    | 8.855 USD   |   |

Fuente: *Elaboración propia.*

Tabla 46. *Otros costes directos de DCU.*

| DCU                             | Costo (USD) | Justificación   |
|---------------------------------|-------------|---|
| <b>Viajes y dietas</b>          | 2.200       | 1 Reunión anual con el consorcio en Filadelfia (vuelos, estancia, dietas). (1.200 USD)<br>1 Conferencia: Conferencia internacional sobre eSalud y dispositivos sanitarios de autosupervisión. (1.000 USD)   |
| <b>Equipamiento</b>             | 3.000       | 2 Ordenadores. (1.500 USD x 2 = 3.000 USD)  |
| <b>Otras bienes y servicios</b> | 7.125       | 2 Licencias de Pentaho para el análisis de los datos. (600 USD x 2 = 1.200 USD)<br>Tasa de inscripción de la conferencia. (400 USD)<br>Publicación en la revista: Juegos serios de JMIR. (1.800 USD)<br>Publicación en la revista: Revista Internacional de Evaluación Tecnológica en el Cuidado de la Salud. (1.200 USD)<br>Creación del logotipo. (800 USD)<br>Creación de la página web del proyecto. (1.500 USD)<br>Diseño e impresión de folletos. (225 USD) |
| <b>Total</b>                    | 12.325 USD  |   |

Fuente: *Elaboración propia.*

En la tabla 47, se desglosa cada uno de los costes previamente descritos para finalmente obtener el cálculo total del presupuesto del proyecto; incluyendo los costes directos de subcontratación, donde se consideró el coste de la empresa subcontratada Consulticgroup<sup>33</sup>, la cual proveerá de los servicios relacionados a las tareas administrativas, financieras, legales y de auditoría durante el transcurso del proyecto. Asimismo, se incluyó los costes indirectos que se refieren a luz, agua, internet, etc.; que fueron calculados con la regla del 25% del total de los costes directos.

Tabla 47. Desglose del presupuesto total del proyecto.

| Socio        | País           | Costes directos de personal (USD) | Otros costes directos (USD) | Costes directos de subcontratación (USD) | Costes indirectos (USD) | Costes totales (USD) |
|--------------|----------------|-----------------------------------|-----------------------------|--|-------------------------|----------------------|
| TECH         | Ecuador        | 51.300                            | 10.800                      | 38.000                                   | 25.025                  | 125.125              |
| MOSRH        | Estados Unidos | 62.550                            | 8.700                       |  | 17.812                  | 89.062               |
| OTB          | Italia         | 40.950                            | 8.855                       |  | 12.451                  | 62.256               |
| DCU          | Irlanda        | 68.040                            | 12.325                      |  | 20.091                  | 100.456              |
| <b>TOTAL</b> |                | <b>222.840 USD</b>                | <b>40.680 USD</b>           | <b>38.000 USD</b>                        | <b>75.379 USD</b>       | <b>376.899 USD</b>   |

Fuente: Elaboración propia.

El coste total necesario para llevar a cabo el proyecto durante los 12 meses de duración es de **376.899 USD**. En la figura 30, se indica el desglose del presupuesto del proyecto por socio, siendo TECH el socio que más presupuesto tiene asignado.

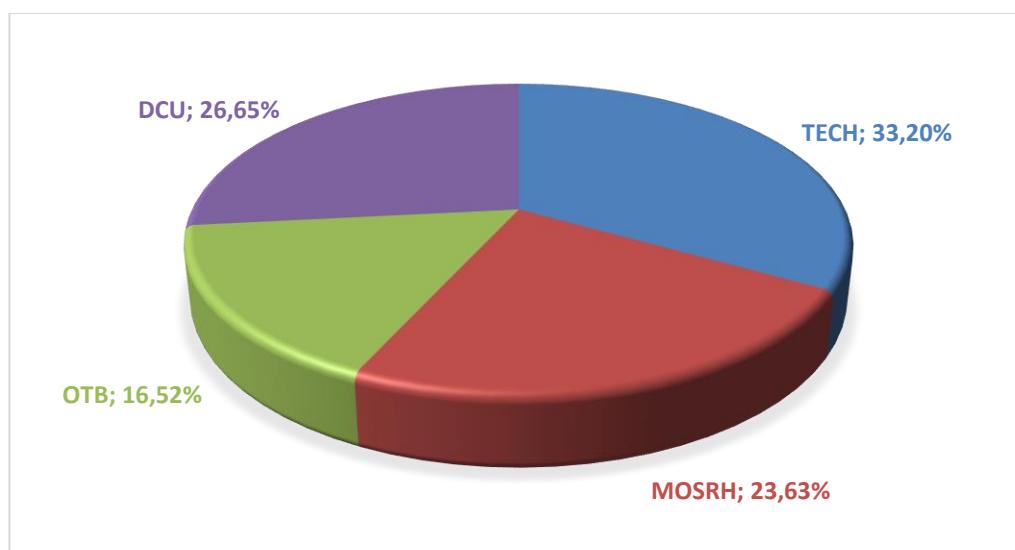


Figura 30. Presupuesto desglosado por socio.

Fuente: Elaboración propia.

<sup>33</sup> Consulticgroup es una empresa ficticia creada para este TFM

Asimismo, en la figura 31 se muestra la distribución del presupuesto del proyecto por tipo de coste, siendo los costes directos de personal los que tienen mayor asignación, ya que al ser un proyecto de desarrollo tecnológico la estimación de los costes se enfocará en la mano de obra, es decir en el personal que desarrollará la aplicación móvil.

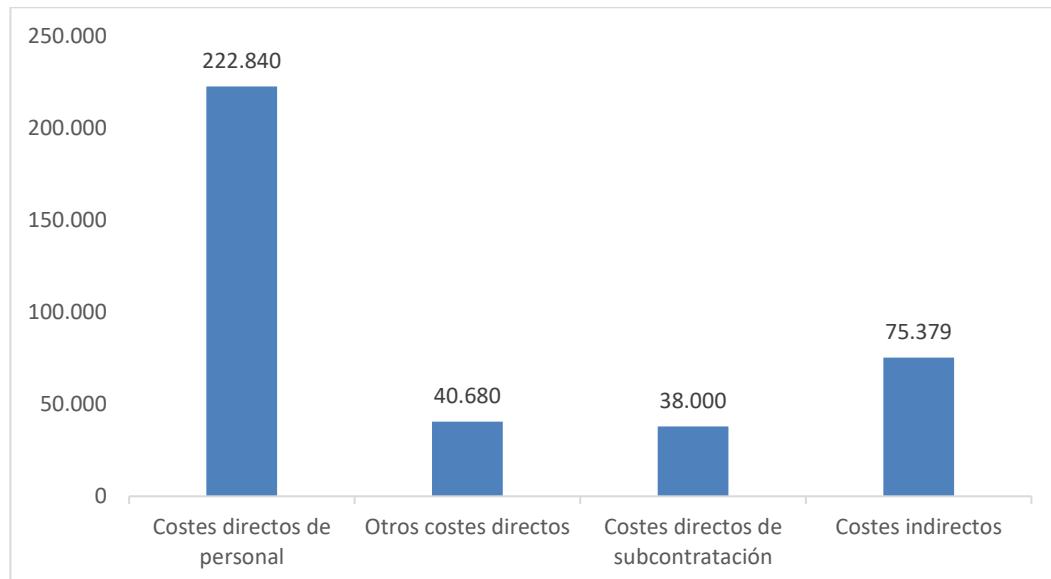


Figura 31. Presupuesto desglosado por tipo de coste.

Fuente: Elaboración propia.

Finalmente, en la figura 32 se indica el desglose de todo el presupuesto del proyecto por paquetes de trabajo.

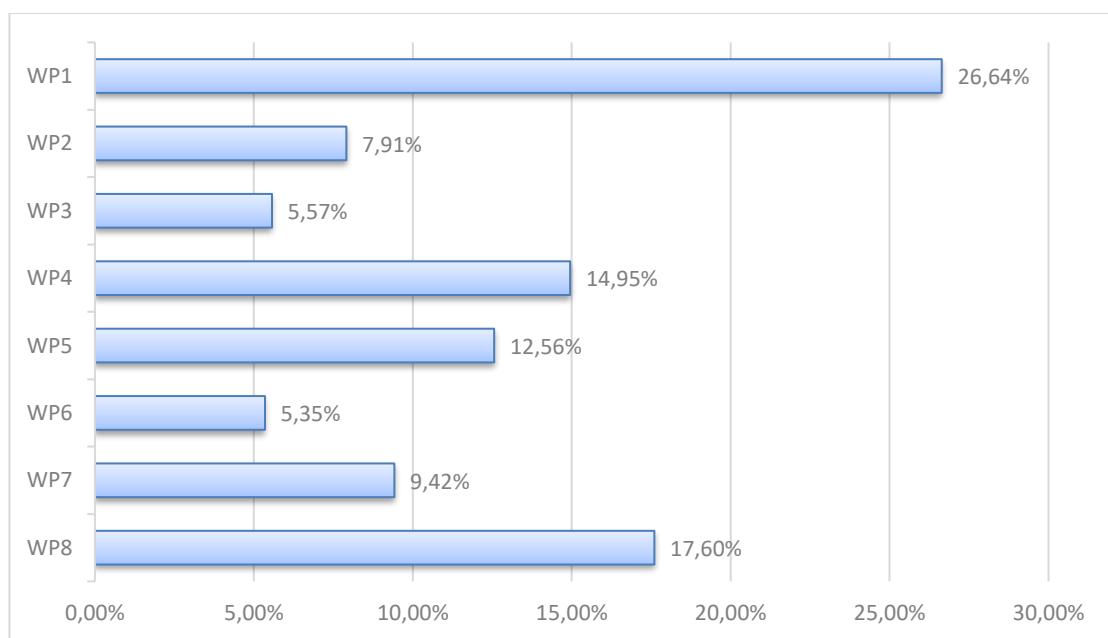


Figura 32. Presupuesto desglosado por paquetes de trabajo.

Fuente: Elaboración propia.

## 5 Conclusiones y trabajo futuro

En este capítulo final se indicarán las principales conclusiones en función de los objetivos planteados al inicio del proyecto, valorando si éstos se cumplieron. Asimismo, se mencionarán las posibles líneas de trabajo futuro donde se podría implementar el proyecto propuesto.

### 5.1 Principales conclusiones

El objetivo general del proyecto era: “brindar una rehabilitación completa y accesible a personas con amputación a nivel transradial mediante una aplicación móvil de monitoreo, evaluación y análisis utilizando videojuegos, permitiendo que las personas consigan un mayor control para el uso de prótesis mioeléctricas”. Para alcanzar este objetivo se plantearon seis objetivos específicos, los cuales fueron desarrollados en cada uno de los capítulos planteados para este proyecto y que finalmente permitieron definir de manera clara la línea directriz para conseguir llevar a cabo la planificación y gestión del presente proyecto.

Respecto al primer objetivo específico, “Establecer el protocolo del entrenamiento muscular en la etapa pre-protésica mediante la definición de diferentes parámetros para la preparación del paciente en el manejo correcto de una prótesis mioeléctrica”, en el capítulo cuatro, específicamente en el numeral 4.1 se definió los perfiles de trabajo y para conseguir este objetivo se contó con la participación de un centro de rehabilitación especializado en personas con algún tipo de amputación, quienes seleccionaron los parámetros necesarios que permitan una adecuada rehabilitación para personas con amputación transradial para finalmente crear el protocolo de entrenamiento muscular en la etapa pre-protésica, que además sirvió de instructivo de requerimientos para la creación de la aplicación móvil. Por lo tanto, se considera objetivo alcanzado.

Frente al segundo objetivo específico, “Desarrollar la interfaz visual de la aplicación mediante el diseño de formularios que permita el ingreso de datos importantes para el registro y la evaluación del entrenamiento del paciente”, se estableció la estructura necesaria para la aplicación móvil, para lo cual se consideró toda la información personal y médica necesaria del paciente para su análisis y almacenamiento en la base de datos alojada en el servidor del proyecto; de tal manera que permita realizar y evaluar diferentes movimientos de la extremidad superior. Finalmente se consiguió la interfaz visual adecuada para esta aplicación, cumpliendo con todos los estándares requeridos, especialmente en lo que respecta a la experiencia de usuario. Por consiguiente, se logró cumplir con este objetivo.

En el tercer objetivo específico, “Desarrollar los videojuegos de cada movimiento y nivel del entrenamiento del paciente mediante el diseño de escenarios creativos e interactivos para

una rehabilitación más integral”, se estableció una metodología híbrida para este proyecto, ya que trata sobre el desarrollo de software. Para este objetivo en concreto se utilizó la metodología scrum, debido a que facilita las iteraciones por las que deben pasar los videojuegos de cada movimiento hasta estar totalmente completos. Por consiguiente, se definió cada uno de los *sprint* necesarios para conseguir que todos los niveles de los videojuegos sean creativos e interactivos para la rehabilitación de las personas con amputación transradial. Por ello, se considera un objetivo cumplido.

Respecto al cuarto objetivo específico, “Analizar la información del paciente mediante una red neuronal, *Maching Learning* y *Big Data* para la predicción de los valores de cada parámetro del entrenamiento muscular”, se definió el uso de un banco de datos sobre los movimientos previamente definidos para este proyecto con la finalidad de entrenar la red neuronal. Los algoritmos de análisis fueron desarrollados para conseguir los valores adecuados de los parámetros del protocolo de entrenamiento y de esta manera se logró brindar un entrenamiento personalizado de acuerdo con las necesidades de las personas que requieran rehabilitación muscular. Finalmente, los algoritmos de predicción fueron creados para que los pacientes puedan realizar su entrenamiento sin utilizar obligatoriamente internet lo que permitió que la aplicación móvil sea mucho más accesible. Por lo tanto, se considera objetivo alcanzado.

Frente al quinto objetivo específico, “Establecer la conexión entre el dispositivo de sensorizado y la aplicación mediante comunicación por bluetooth para la activación del videojuego con las señales EMG”, primero se definió el dispositivo de sensorizado más ideal para este proyecto, para lo cual se contó con la ayuda de la empresa OT Bioelettronica dedicada a la fabricación de este tipo de dispositivos, sugirió que para este proyecto en concreto se utilice el dispositivo DueLite. Finalmente, se estableció que es necesario que las señales EMG captadas por el DueLite debían pasar por un proceso de tratamiento de la señal, consiguiendo que el entrenamiento realizado mediante los videojuegos sea en tiempo real y con los datos verdaderos del paciente. En consecuencia, este objetivo se considera alcanzado.

En el sexto objetivo específico, “Integrar, evaluar y validar todos los componentes de la aplicación mediante un número de pruebas establecidas para la obtención de la aplicación de rehabilitación muscular del miembro superior”, se comprobó que este completa la integración de la aplicación y se efectuó la selección de los pacientes voluntarios con amputaciones transradiales; quienes realizaron la rehabilitación muscular por un determinado tiempo utilizando la aplicación móvil desarrollada en este proyecto para su respectiva evaluación y validación del funcionamiento integral de la misma, consiguiendo el 95% de aceptación y credibilidad por parte de los pacientes. Por ello, se considera un objetivo cumplido.

Como conclusión final, con lo que respecta a la planificación y gestión del proyecto sí se consiguió que se cumpla con el tiempo, presupuesto establecido y la calidad esperada de la aplicación móvil. El producto obtenido fue realmente el que se esperaba y gracias a las pruebas realizadas se determinó que efectivamente está listo, por lo que podrá llevarse a cabo el plan de explotación obteniendo un gran éxito.

## 5.2 Líneas de trabajo futuro

Actualmente la telemedicina ha tomado mayor presencia en el mundo y por eso ahora ya es una realidad hablar sobre telerehabilitación, pese a que aún hay mucho trabajo por hacer en esta área. Por lo tanto, es fundamental darle continuidad a este proyecto pues facilita la rehabilitación muscular de millones de personas que sufrieron la pérdida de su extremidad superior, razón por la cual es conveniente que en un futuro se pueda ampliar el alcance de esta aplicación móvil, para que también permita realizar la rehabilitación muscular a personas que tengan una amputación transhumeral, pues se lograría llegar a un mayor número de beneficiarios.

Asimismo, es importante destacar que cada año aumenta el número de personas que sufren amputaciones en las extremidades inferiores a causa de la diabetes, y es que esta enfermedad tiene un elevado crecimiento pues se ha triplicado en los últimos veinte años, pasando de 151 millones de personas con diabetes en el 2000 a 463 millones de personas con diabetes en el 2020, razón por la cual la diabetes se ha convertido en el mayor problema a nivel de la salud (Novalab, 2020). En este contexto, es importante que en un futuro se replique lo realizado en este proyecto, pero con un enfoque para personas con amputaciones en las extremidades inferiores.

Finalmente, con base a los resultados obtenidos del proyecto se puede implementar en un futuro la misma metodología de rehabilitación planteada en este proyecto, la cual fue el entrenamiento muscular para su fortalecimiento y posteriormente uso de una prótesis mioeléctrica mediante videojuegos; en otras áreas de la salud que requieran rehabilitación, orientación o mejora en las dificultades físicas y mentales de los pacientes mediante procesos terapéuticos.

## Referencias bibliográficas

- Abellán, E. (2020, marzo 5). *Metodología Scrum: qué es y cómo funciona.* <https://www.wearemarketing.com/es/blog/metodologia-scrum-que-es-y-como-funciona.html>
- Angular. (2021). *Características y beneficios de angular.* <https://angular.io/>
- Antevenio. (2020, febrero 24). *¿Qué es la metodología SCRUM? Guía práctica con ejemplos.* <https://www.antevenio.com/blog/2020/02/que-es-la-metodologia-scrum/>
- App Store. (s. f.). *Myo Plus.* Recuperado 16 de abril de 2021, de <https://apps.apple.com/us/app/myo-plus/id1447512359>
- Bates, T. J., Fergason, J. R., & Pierrie, S. N. (2020). Technological Advances in Prosthesis Design and Rehabilitation Following Upper Extremity Limb Loss. *Curr Rev Musculoskelet Med*, 13(4), 485-493. <https://doi.org/10.1007/s12178-020-09656-6>
- Bessa, D., Rodrigues, N. F., Oliveira, E., Kolbenschag, J., & Prahm, C. (2020). Designing a Serious Game for Myoelectric Prosthesis Control. *2020 IEEE 8th International Conference on Serious Games and Applications for Health (SeGAH)*, 1-5. <https://doi.org/10.1109/SeGAH49190.2020.9201812>
- Coldren, A., MPO, & Brinkmann, J. T. (2017). Videojuegos disponibles comercialmente en rehabilitación protésica. *The O&P EDGE.* <https://opedge.com/Articles/ViewArticle/2017-08-01/commercially-available-video-games-in-prosthetic-rehabilitation>
- DCU. (s. f.). *Escuela de Computación.* Recuperado 23 de abril de 2021, de <https://www.dcu.ie/computing/about>
- DCU. (2020, octubre 30). *DCU es nombrada la Universidad del Año del Sunday Times / Universidad de la ciudad de Dublín.* <https://www.dcu.ie/computing/news/2021/apr/dcunamed-sunday-times-university-year>
- Department of Economic and Social Affairs. (2018). *Disability and Development Report. Realizing the Sustainable Development Goals by, for and with persons with disabilities.* <http://shop.un.org>
- Design Interactive. (s. f.). *Adapt-MP: Entrenamiento crítico para amputados.* Recuperado 17 de abril de 2021, de <https://designinteractive.net/adapt-mp/>
- developers. (s. f.). *Android Studio.* Recuperado 31 de mayo de 2021, de [App de rehabilitación muscular para amputación transradial mediante videojuegos 91 utilizando señales electromiográficas](#)

<https://developer.android.com/studio?hl=es-419>

Disability Benefits Help. (2021). *Medical Criteria Needed to Qualify with an Amputation.*

<https://www.disability-benefits-help.org/medical-evidence/amputation>

ESAN. (2020, enero 9). *¿Qué es la matriz AMFE y para qué sirve?*

<https://www.esan.edu.pe/apuntes-empresariales/2020/01/que-es-la-matriz-amfe-y-para-que-sirve-1/>

García, C. (2021a). Herramientas gestión y evaluación. *Gestión de la Calidad, Riesgos y Evaluación.*

García, C. (2021b). Gestión del Riesgo. *Gestión de la calidad, riesgos y evaluación*, 1-36.

Google Play. (s. f.-a). *Fitness para amputados*. Recuperado 16 de abril de 2021, de <https://play.google.com/store/apps/details?id=com.ottobock.fitnessapp&hl=es&gl=US>

Google Play. (s. f.-b). *Rephysio - Rehabilitación y fisioterapia*. Recuperado 16 de abril de 2021, de <https://play.google.com/store/apps/details?id=com.eon46.refizjo>

Guirao Cano, L., Samitier Pastor, B., Peret Hernández, P., Díaz Vela, & Monné Cuevas, P. (2020). Use of the Myo Plus system in transradial amputation patients. *Rehabilitacion*. <https://doi.org/10.1016/j.rh.2020.06.008>

Guterres, A. (2020, diciembre 21). *Reconocer y proteger los derechos de las personas con discapacidad, insta el jefe de la ONU | Habilidades de las Naciones Unidas.* <https://www.un.org/development/desa/disabilities/news/dspd/protect-rights-of-persons-with-disabilities.html>

Guzmán-Muñoz, E., & Méndez-Rebolledo, G. (2018). Electromyography in the rehabilitation sciences. *Salud Uninorte*, 34(3), 753-765. <https://doi.org/10.14482/sun.34.3.616.74>

Hashim, N. , Abd Razak, N. , Gholizadeh, H., & Abu Osman, N. . (2021). Video game-based rehabilitation approach for individuals who have undergone upper limb amputation: Case-control study. *JMIR Serious Games*, 9(1). <https://doi.org/10.2196/17017>

Hosseini Ravandi, M., Kahlaee, A. , Karim, H., Ghamkhar, L., & Safdari, R. (2020). Home-based telerehabilitation software systems for remote supervising: A systematic review. *International Journal of Technology Assessment in Health Care*, 36(2), 113-125. <https://doi.org/10.1017/S0266462320000021>

Insight. (s. f.-a). *Acerca de Insight*. Recuperado 23 de abril de 2021, de <https://www.insight->

[centre.org/about-us#who we are](https://www.insight-centre.org/about-us#who_we_are)

Insight. (s. f.-b). *Proyectos*. Recuperado 23 de abril de 2021, de <https://www.insight-centre.org/projects/>

ISHN. (2014, febrero 4). *Estadísticas sobre la pérdida de manos y brazos*. <https://www.ishn.com/articles/97844-statistics-on-hand-and-arm-loss>

Java. (s. f.). *¿Qué es Java y para qué es necesario?* Recuperado 31 de mayo de 2021, de [https://www.java.com/es/download/help/whatis\\_java.html](https://www.java.com/es/download/help/whatis_java.html)

Khan, R. U., Tahir, M. W., & Tiwana, M. I. (2019). Rehabilitation Process of Upper Limbs Muscles through EMG Based Video Game. *2019 International Conference on Robotics and Automation in Industry, ICRAI 2019*. <https://doi.org/10.1109/ICRAI47710.2019.8967370>

Konrad, P. (2005). A practical introduction to kinesiological electromyography. *The abc of EMG*, 1, 30-35.

Maduri, P., & Akhondi, H. (2020). Upper Limb Amputation. En *StatPearls*. StatPearls Publishing. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/31082006>

McDonald, C. L., Westcott-McCoy, S., Weaver, M. R., Haagsma, J., & Kartin, D. (2021). Global prevalence of traumatic non-fatal limb amputation. *Prosthetics & Orthotics International*, 45(2), 105-114. <https://doi.org/10.1177/0309364620972258>

Medicina de Michigan. (s. f.). *Amputación de la extremidad superior*. Recuperado 7 de mayo de 2021, de <https://www.uofmhealth.org/conditions-treatments/rehabilitation/upper-extremity-amputation>

Melero, M., Hou, A., Cheng, E., Tayade, A., Lee, S. C., Unberath, M., Navab, N., & Cutolo, F. (2019). Upbeat: Augmented Reality-Guided Dancing for Prosthetic Rehabilitation of Upper Limb Amputees. *Hindawi*, 1-9. <https://doi.org/10.1155/2019/2163705>

Mioton, L. M., & Dumanian, G. A. (2018). Targeted muscle reinnervation and prosthetic rehabilitation after limb loss. *Journal of Surgical Oncology*, 118(5), 807-814. <https://doi.org/10.1002/jso.25256>

MossRehab. (2021a). *Programa y atención de amputación y rehabilitación de prótesis*. <https://www.mossrehab.com/amputation-and-prosthetics>

MossRehab. (2021b). *Si tiene una lesión o trastorno físico grave, MossRehab puede ayudarlo*

- a reconstruir su vida.* <https://www.mossrehab.com/about-mossrehab>
- Naciones Unidas. (2016). *SALUD Y BIENESTAR.*  
[https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/wp-content/uploads/sites/3/2016/10/3\\_Spanish\\_Why\\_it\\_Matters.pdf](https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/wp-content/uploads/sites/3/2016/10/3_Spanish_Why_it_Matters.pdf)
- Naciones Unidas. (2019). *Objetivos y metas de desarrollo sostenible.*  
<https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/objetivos-de-desarrollo-sostenible/>
- Novalab. (2020, enero 2). *Así empieza el 2020 la diabetes en el mundo.* <https://objetivo-cerohipoglucemias.es/diabetes-tipo1/asi-empieza-el-2020-la-diabetes-en-el-mundo.html#>
- Núñez, T., & Urquiza, F. (2016). *Los amputados y su rehabilitación* (E. Vázquez (ed.)). Intersistemas, S.A de C.V.  
[https://www.anmm.org.mx/publicaciones/ultimas\\_publicaciones/Rehabilitacion.pdf](https://www.anmm.org.mx/publicaciones/ultimas_publicaciones/Rehabilitacion.pdf)
- Organización Mundial de la Salud. (2017). *10 datos sobre la discapacidad.*  
<https://www.who.int/features/factfiles/disability/es/>
- Organización Mundial de la Salud. (2020, diciembre 1). *Discapacidad y salud.*  
<https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/disability-and-health>
- OT Bioelettronica SRL. (s. f.). *DueLite.* Recuperado 25 de abril de 2021, de <https://www.otbioelettronica.it/prodotti/hardware/duelite>
- OT Bioelettronica SRL. (2021). *OT Bioelectronics.* <https://www.otbioelettronica.it/>
- Ottobock. (2020a). *Información para amputados de miembros superiores y sus familias.*  
<https://www.ottobockus.com/prosthetics/info-for-new-amputees/information-for-upper-limb-amputees-and-their-families/>
- Ottobock. (2020b). *Myo Plus pattern recognition in practice - Therapy and training brochure for fast and easy use.*
- Pérez, A. (2021, abril 25). *Las 5 etapas en los “Sprints” de un desarrollo Scrum.* OBS Business School. <https://www.obsbusiness.school/blog/las-5-etapas-en-los-sprints-de-un-desarrollo-scrum>
- PlayBionic. (s. f.). *MyoBeatz.* Recuperado 25 de abril de 2021, de <https://playbionic.org/myobeatz/>
- PMI. (2017). Guía del PMBOK. En *Guía de los Fundamentos para la dirección de Proyectos*
- App de rehabilitación muscular para amputación transradial mediante videojuegos 94 utilizando señales electromiográficas

*Sexta Edición.*

Prabhu, G., O'connor, N. E., & Moran, K. (2020). Recognition and Repetition Counting for Local Muscular Endurance Exercises in Exercise-Based Rehabilitation: A Comparative Study Using Artificial Intelligence Models. *Sensors*, 20, 1-29. <https://doi.org/10.3390/s20174791>

Prabhu, G., O'Connor, N. E., & Moran, K. (2021). A Deep Learning Model for Exercise-Based Rehabilitation Using Multi-channel Time-Series Data from a Single Wearable Sensor. En *Wireless Mobile Communication and Healthcare* (pp. 104-115). Springer, Cham. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-70569-5\\_7](https://doi.org/10.1007/978-3-030-70569-5_7)

Prahm, C., Vujaklija, I., Kayali, F., Purgathofer, P., & Aszmann, O. C. (2017). Game-Based Rehabilitation for Myoelectric Prostheses Control. *JMIR serious games*, 5(1). <https://doi.org/https://doi.org/10.2196/games.6026>

Prahm, C., Sturma, A., Kayali, F., Mörth, E., & Aszmann, O. (2018). Smart Rehab: App-based rehabilitation training for upper extremity amputees - Case Report. *Handchirurgie Mikrochirurgie Plastische Chirurgie*, 50(6), 425-432. <https://doi.org/10.1055/a-0747-6037>

RedHat. (2021). ¿Qué es una API de REST? <https://www.redhat.com/es/topics/api/what-is-a-rest-api>

Rieken, J. (2021). *Visual Studio Code*. <https://code.visualstudio.com/docs>

SANDOROBOTICS. (s. f.). *Sensor Muscular MyoWare*. Recuperado 25 de abril de 2021, de <https://sandorobotics.com/producto/sen-13723/>

Schwaber, K., & Sutherland, J. (2013). *La Guía de Scrum*.

Simões Mendes, M., & Aneiros Fernandez, J. C. (2021). Physical disability, rehabilitation, and health promotion: a case study in Brazil. *Cadernos de Saúde Pública*, 37(4), 56520. <https://doi.org/10.1590/0102-311x00056520>

Sommerville, I. (2011). *Ingeniería de Software* (Novena). Pearson Educación de México, S.A. de C.V. [https://www.academia.edu/25063155/Ingenieria\\_de\\_Software\\_Sommerville](https://www.academia.edu/25063155/Ingenieria_de_Software_Sommerville)

Soyer, K., Unver, B., Tamer, S., & Ulger, O. (2016). The importance of rehabilitation concerning upper extremity amputees: A systematic review. *Pakistan Journal of Medical Sciences*, 32(5), 1312-1319. <https://doi.org/10.12669/pjms.325.9922>

UNIR. (2020, abril 2). 4 metodologías para la gestión de proyectos que debes conocer. *UNIR*.

<https://www.unir.net/empresa/revista/metodologias-gestion-proyectos/>

Unity. (2021). *Plataforma Unity*. <https://unity.com/products/unity-platform>

Villarroya Aparicio, M. A. (2005). Electromiografía cinesiológica. *Rehabilitacion*, 39(6), 255-264. [https://doi.org/10.1016/S0048-7120\(05\)74359-0](https://doi.org/10.1016/S0048-7120(05)74359-0)

Widehammar, C., Pettersson, I., Janeslått, G., & Hermansson, L. (2018). The influence of environment: Experiences of users of myoelectric arm prosthesis-a qualitative study. *Prosthetics and orthotics international*, 42(1), 28-36. <https://doi.org/10.1177/0309364617704801>

Winslow, B. D., Ruble, M., & Huber, Z. (2018). Mobile, Game-Based Training for Myoelectric Prostheses Control. *Front. Bioeng. Biotechnol.*, 6, 1. <https://doi.org/10.3389/fbioe.2018.00094>

## Anexo I: Ficha de control de documentos

| FICHA DE CONTROL DE DOCUMENTOS |   |                    |                              |                              |
|--------------------------------|---|--------------------|------------------------------|------------------------------|
| <b>Código</b>                  | [aaaa/mm/dd-Tema_de_la reunión_Versión.extensión]   |                    |                              |                              |
| <b>Versión</b>                 | [Nro. de versión]   |                    |                              |                              |
| <b>Fecha</b>                   | [dd/mm/aaaa]  |                    |                              |                              |
| <b>Socio Responsable</b>       | [Acrónimo del socio responsable]  |                    |                              |                              |
| <b>Autor principal</b>         | [Nombre, Apellido1, Apellido2 - Email]  |                    |                              |                              |
| <b>Título</b>                  | [Título del documento]  |                    |                              |                              |
| <b>Abstract</b>                | [Resumen que contenga una descripción clara y breve del documento]  |                    |                              |                              |
| <b>Actividad</b>               | [Descripción de la actividad/tarea]   |                    |                              |                              |
| <b>Estado</b>                  | <ul style="list-style-type: none"> <li><input type="radio"/> Borrador</li> <li><input type="radio"/> Aceptado por el Líder de equipo</li> <li><input type="radio"/> Aceptado por el Director del proyecto</li> </ul>  |                    |                              |                              |
| <b>Acción solicitada</b>       | <ul style="list-style-type: none"> <li><input type="radio"/> Revisión por los interesados del entregable</li> <li><input type="radio"/> Solicitud de revisión del Líder del equipo</li> <li><input type="radio"/> Solicitud de revisión del Director del proyecto</li> </ul> <p><i>Fecha fin de la acción:</i> [dd/mm/aaaa]</p> |                    |                              |                              |
| <b>Palabras Clave</b>          | [Palabra clave1, palabra clave2, ...]   |                    |                              |                              |
| <b>Notas de la versión</b>     | <b>Versión</b>  | <b>Autor</b>       | <b>Fecha</b>                 | <b>Cambios realizados</b>    |
|                                | 1.0   | [Nombre, Apellido] | [dd/mm/aaaa]                 | [Descripción de los cambios] |
| <b>Historial de revisiones</b> | <b>Revisado por</b>   | <b>Fecha</b>       | <b>Comentarios</b>           |                              |
|                                | [Nombre, Apellido]  | [dd/mm/aaaa]       | [Descripción de los cambios] |                              |

## Anexo II: Código de fichero del documento

| CÓDIGO DE FICHERO DEL DOCUMENTO |  |  |
|---------------------------------|--|--|
| <b>Código:</b>                  | aammdd – Título – AS – VX.x  |  |
| <b>Campos:</b>                  | aammdd   | Fecha de entrega oficial del documento.  |
|                                 | X.x  | Número de versión. La segunda 'x' indica cambios menores respecto a la versión actual. Los cambios mayores se reflejan con un nuevo número de versión (primera X). |
|                                 | AS   | Acrónimo del Socio responsable del documento.  |
|                                 | Título   | Título corto pero explícito del documento (los nombres largos pueden crear problemas a la hora de grabar).   |
| <b>NOTA:</b>                    | Es recomendable separar los campos del código de fichero con un “-”. |  |

## Anexo III: Ficha de revisión de documentos

| [Logo del proyecto] |            | Ficha de revisión de documentos       |       |                        | Lector<br>[Nombre, Apellido1, Apellido2] |
|---------------------|------------|---------------------------------------|-------|------------------------|--|
|                     |            | Documento: [Título y versión]         |       |                        |  |
| Fecha: [dd/mm/aaaa] |            | Autor: [Nombre, Apellido1, Apellido2] |       |                        |  |
| ID                  | # / Página | Acción                                | M/m/Q | Comentarios del lector | Comentarios del autor                    |
| 1                   |            |                                       |       |                        |  |
| 2                   |            |                                       |       |                        |  |
| 3                   |            |                                       |       |                        |  |
| 4                   |            |                                       |       |                        |  |
| 5                   |            |                                       |       |                        |  |
| 6                   |            |                                       |       |                        |  |
| 7                   |            |                                       |       |                        |  |
| 8                   |            |                                       |       |                        |  |

M: Mayor, m: menor, Q: pregunta

## Anexo IV: Acta de reunión

| ACTA DE REUNIÓN                            |  |
|--|--|
| [TEMA DE LA REUNIÓN]                       |  |
| <b>Tipo de reunión</b>                     | [Presencial, video conferencia, audio...]  |
| <b>Lugar</b>                               | [Localización (Ciudad)]  |
| <b>Fecha</b>                               | [dd/mm/aaaa]   |
| PARTICIPANTES                              |  |
| [Acrónimo del participante]                | Apellido, Nombre - Email   |
| [Acrónimo del participante]                | Apellido, Nombre - Email   |
| [Acrónimo del participante]                | Apellido, Nombre - Email   |
| DESCRIPCIÓN                                |  |
| <b>Orden del día</b>                       | [Explicación del objetivo de la reunión y los temas a tratar]                              |
| <b>Acciones para tomar</b>                 | [Explicación de las acciones a tomar, teniendo en cuenta plazos de entrega y responsables] |
| <b>Lugar y fecha de la próxima reunión</b> | [Ciudad, dd/mm/aaaa]   |