



UNIVERSIDAD DE VALLADOLID

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS DE TELECOMUNICACIÓN

TRABAJO FIN DE GRADO

GRADO EN INGENIERÍA DE TECNOLOGÍAS DE TELECOMUNICACIÓN

**Desarrollo de una aplicación Android para la
rehabilitación de fracturas de hombro con
ejercicios guiados**

Autora:

Dña. María Macarulla Rodríguez

Tutor:

Dr. D. Mario Martínez Zarzuela

Valladolid, Junio de 2018

TÍTULO: Desarrollo de una aplicación Android para la rehabilitación de fracturas de hombro con ejercicios guiados

AUTORA: Dña. María Macarulla Rodríguez

TUTOR: Dr. D. Mario Martínez Zarzuela

DEPARTAMENTO: Teoría de la Señal y Comunicaciones e Ingeniería Telemática

TRIBUNAL

PRESIDENTE: Dr. D. Francisco J. Díaz Pernas

VOCAL: Dr. D. Míriam Antón Rodríguez

SECRETARIO: Dr. D. Mario Martínez Zarzuela

SUPLENTE 1: Dr. D. David González Ortega

SUPLENTE 2: Dr. D. Carlos Gómez Peña

FECHA:

CALIFICACIÓN

A Héctor, por colaborar y apoyarme durante todo el proyecto.

A Mario, por hacer de este Trabajo de Fin de Grado una tarea amena.

A mis padres y hermana, por prestarme sus móviles como conejillos de indias.

A mi abuela Teresa, por darme la idea de realizar un proyecto relacionado con la medicina.

A mis amigos de la carrera, por animarme todos los días con sus bromas y chistes, con los que podría desarrollar otro TFG.

Resumen

Las fracturas de húmero proximal son unas de las más frecuentes en los ancianos. Estas fracturas se deben a caídas y a la desmineralización del hueso. Este Trabajo de Fin de Grado consiste en realizar una aplicación para móvil que guíe al paciente a lo largo de la terapia de rehabilitación con el objetivo de lograr una recuperación de la articulación afectada.

En primer lugar, nos centramos en la fractura de húmero proximal, en sus causas y síntomas. Comentamos las técnicas empleadas hoy en día para recuperar la movilidad de la articulación y evaluamos las ventajas de la auto-fisioterapia empleando una aplicación de móvil frente a la rehabilitación tradicional. A continuación, hacemos un breve estudio del estado del arte y explicamos la metodología llevada a cabo para abordar este proyecto, junto con el diseño y desarrollo de la aplicación. Asimismo, indicamos cómo se estructura la aplicación y desarrollamos todas las funcionalidades con las que cuenta.

Para finalizar, se explican las conclusiones a las que se ha llegado tras la finalización del proyecto y las posibles líneas futuras que se podrían adoptar con el objetivo de mejorar la aplicación.

Palabras clave

Fractura, rehabilitación, auto-fisioterapia, App, Smartphone, hombro.

Abstract

Proximal humerus fractures are among the most frequent in the elderly. These fractures are due to painful falls and bone demineralization that this population often faces. This End-of-Degree Project consists of creating a mobile application that helps to guide the patient throughout rehabilitation therapy in order to achieve recovery of the affected joint.

First, we will focus on the fracture of the proximal humerus in regards to its causes and symptoms. We will discuss the employed techniques that are used nowadays to recover the mobility of the joint and evaluate the advantages of self-physiotherapy by using a mobile application compared to traditional rehabilitation. To continue, we briefly study the state of the art and explain the methodology carried out in order to properly address this project, alongside the design and development of the application. Likewise, we indicate how one structures the application and we discuss all of the functionalities that it upholds.

To conclude, one can explain the conclusions reached after the completion of the project as well as the possibilities in the future that could be adopted with the goal of improving the application.

Keywords

Fracture, rehabilitation, self-physiotherapy, App, Smartphone, shoulder.

Índice general

1. Introducción	11
1.1. Motivación	11
1.2. Objetivos	12
1.3. Estructura del documento	12
2. Fracturas	14
2.1. Fractura de húmero proximal	14
2.2. Auto-fisioterapia	20
2.3. Conclusiones	21
3. Diseño y desarrollo de la aplicación	23
3.1. Estado del arte	23
3.2. Sistema operativo	24
3.3. Metodología: modelo en espiral WIN-WIN	24
3.3.1. Requisitos y funcionalidades	26
3.3.2. Diseño	29
3.3.3. Desarrollo	31
3.3.4. Implementación de la App y pruebas en diversos dispositivos	32
4. Aplicación móvil	34
4.1. Aspectos generales	34
4.2. Inicio de la App	34
4.3. Menú principal	37
4.4. Ejercicios	39
4.5. Pantalla de estadísticas	44
4.6. Base de datos	46
5. Conclusiones y líneas futuras	49
5.1. Conclusiones	49
5.2. Líneas futuras	50

Índice de figuras

2.1. Articulación del hombro.	15
2.2. Fracturas del hombro.	16
2.3. Ejemplo de radiografía.	17
2.4. Ejercicios de Codman.	21
3.1. Modelo en espiral.	25
3.2. Gráfica circular de preguntas.	28
3.3. Gráfico de barras del tiempo empleado en cada ejercicio.	29
3.4. Gráfico de barras del tiempo empleado en un ejercicio en concreto.	29
3.5. Boceto a papel de la pantalla de bienvenida y la lista de ejercicios.	30
3.6. Boceto a papel de la pantalla del ejercicio.	31
3.7. Logo de Android Studio.	31
3.8. Logo de Xamarin.	32
3.9. Logo de Eclipse.	32
3.10. Pantalla de bienvenida visualizada desde un Smartphone Huawei Y635-L01.	33
3.11. Pantalla de bienvenida visualizada desde una Tablet Nexus 7.	33
4.1. Pantalla de inicio.	35
4.2. Mensaje emergente solicitando que rellene el nombre.	35
4.3. Pantalla con el resumen de los datos.	36
4.4. Pantalla con el resumen de los datos.	37
4.5. Menú principal.	38
4.6. Menú de navegación.	38
4.7. Lista de ejercicios totales.	39
4.8. Lista de ejercicios de la semana.	40
4.9. Pantalla de configuración del ejercicio.	41
4.10. Pregunta acertada.	42
4.11. Pregunta no acertada.	42
4.12. Pantalla donde se realiza el ejercicio.	43
4.13. Diagrama de flujo del ejercicio	44
4.14. Gráfico circular sobre cuestionario.	45
4.15. Gráfica de barras del tiempo empleado en cada ejercicio.	45

4.16. Gráfica de barras del tiempo empleado en un ejercicio en diferentes fechas.	46
4.17. Base de datos empleada en la App.	48
5.1. Inicio de la aplicación.	55
5.2. Mensaje de advertencia.	56
5.3. Página de inicio.	57
5.4. Editar información de perfil.	58
5.5. Menú de navegación.	59
5.6. Lista de ejercicios de esta semana.	59
5.7. Pantalla de ejercicio.	60
5.8. Pantalla para practicar el ejercicio.	61
5.9. Progreso de la terapia.	62

Capítulo 1

Introducción

Este capítulo pretende introducirnos en este Trabajo de Fin de Grado. Para ello abordaremos las motivaciones que han llevado a su desarrollo y los objetivos que se pretenden alcanzar. Finalmente estructuraremos y explicaremos brevemente los contenidos de la memoria.

1.1. Motivación

Es un hecho que conforme avanza la edad el riesgo de sufrir una fractura ósea aumenta de manera significativa. Contar con terapias de rehabilitación es esencial para minimizar las posibles secuelas tras el accidente. Pero dichas terapias no siempre se llevan a cabo de manera eficaz. Por lo tanto, es necesario buscar métodos que guíen al paciente y verifiquen el cumplimiento de los objetivos de estas terapias. De esta manera, podemos garantizar una adecuada recuperación y la continuación de la vida cotidiana previa al accidente.

Cualquier persona hoy en día dispone o está al alcance de un dispositivo Smartphone. Una aplicación de rehabilitación en dicho dispositivo permitiría realizar la terapia desde el hogar, sin necesidad de trasladarse al hospital o centro médico, ahorrando así tiempo tanto del paciente como de su médico. Además, el médico podría tener un seguimiento de cada uno de sus pacientes y modificar la terapia a su gusto sin tener que concertar una cita para ver a su paciente.

En este proyecto se desarrolla una App para Android donde se procura dirigir al paciente a lo largo de la terapia de rehabilitación a través de una serie de vídeos y ejercicios explicativos. Se han seguido las especificaciones dictadas siguiendo el criterio médico de un cirujano traumatólogo experto en fracturas de húmero que ha cooperado a lo largo de este Trabajo de Fin de Grado. El médico colaborador solicitó nuestra ayuda para diseñar una aplicación para Smartphone, a partir de un programa de ejercicios diseñado por él que se ha tomado como base.

1.2. Objetivos

El objetivo primordial consiste en desarrollar una aplicación funcional. Que sirva para llevar a cabo una terapia de rehabilitación de fracturas de hombro desde el domicilio del paciente. Esta aplicación ofrece una serie de ejercicios ordenados que guían al paciente a lo largo de la fisioterapia. Los ejercicios están acomodados al paciente según cuándo se fracturó o tuvo la operación quirúrgica.

El segundo objetivo es proporcionar una aplicación al alcance de gran cantidad de usuarios. Cuantas más personas puedan hacer uso de la aplicaciones, más resultados y retroalimentación se obtendrá.

El tercer objetivo es que se pueda desarrollar e implementar una aplicación con una interfaz sencilla y amigable. Esta aplicación está destinada principalmente a pacientes de avanzada edad, los cuales tienen dificultades para trasladarse al hospital y realizar la fisioterapia. Por lo tanto, esta aplicación es idónea para ellos ya que pueden realizar la fisioterapia desde su domicilio. Las personas de la tercera edad no están familiarizadas con los dispositivos Smartphone, o pueden presentar problemas de visión. Por lo que desarrollar una aplicación simple, con pocos botones, letra grande, colores llamativos..., pero eficaz, es clave para obtener buenos resultados.

Finalmente, el cuarto objetivo es informar al médico con los datos de su paciente y de si está realizando la terapia correctamente. Además de ofrecer la posibilidad de modificar dicha terapia en función de las necesidades de su paciente.

1.3. Estructura del documento

A continuación se procede a explicar los diferentes capítulos y secciones de las que se compone el documento.

En este primer capítulo se ha redactado la motivación por la que se ha llevado a cabo este proyecto, junto con los objetivos que han sido marcados desde un comienzo.

En el segundo capítulo se detallan las características de una fractura, particularizando en las fracturas de hombro. Así como las causas de la lesión, los tratamientos que se llevan a cabo y las ventajas que este proyecto supondría en la terapia.

El tercer capítulo se centra en analizar el estado del arte. Además, se especifican las diferentes decisiones que se tomaron antes de iniciar el proyecto y el porqué de la elección. Como el sistema operativo escogido o la metodología llevada.

En el cuarto capítulo se explican las funcionalidades y aspectos generales de la aplicación para el dispositivo Android.

Por último, en el cuarto capítulo se estudian las líneas futuras. Se comentan algunas ideas para mejorar la aplicación y las conclusiones a las que se han llegado a lo largo del trabajo en este proyecto.

Cabe destacar que el documento cuenta con dos anexos:

- Un manual de usuario para exponer todas las funcionalidades de la aplicación y su modo de utilización.
- Un manual de programador, donde se detalla el entorno de trabajo empleado y se aclaran las secciones de código más relevantes del proyecto junto con su estructura.

Capítulo 2

Fracturas

En este capítulo vamos a centrarnos en las fracturas, en particular en la fractura del húmero proximal. Hablaremos brevemente de las causas, síntomas, así como de la rehabilitación. Comentaremos las técnicas empleadas hasta la fecha de recuperación y evaluaremos las ventajas del nuevo sistema de rehabilitación de fracturas a través de una aplicación móvil. Por último, finalizaremos con algunas conclusiones.

2.1. Fractura de húmero proximal

Una fractura consiste en la pérdida de solución de continuidad de un hueso. A la fractura del húmero proximal también se la conoce como fractura de hombro.

El hombro es la articulación que une el brazo con el resto del cuerpo. Está formada por tres huesos: el húmero, la escápula u omóplato y la clavícula, como se puede observar en la figura 2.1.

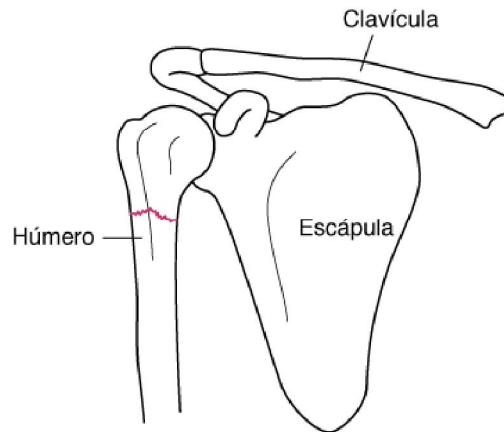


Figura 2.1: Articulación del hombro.

Etiología

Normalmente ocurren en pacientes ancianos debido a caídas casuales. También en pacientes jóvenes se producen por accidentes de alta energía o lesiones o lesiones deportivas, una fuerza brusca aplicada sobre un brazo... La pérdida de masa ósea y la osteoporosis son algunos de los factores predisponentes, ya que ambos provocan el debilitamiento de los huesos. Además, suelen ser más comunes en edades avanzadas.

Las fracturas se clasifican en función del número de fragmentos que se producen y el desplazamiento entre ellos (Merck & Inc. n.d.). En la figura 2.2 se pueden observar ejemplos de fracturas con una y dos partes.

Signos y síntomas

Algunos de los síntomas son dolor intenso, deformidad en la extremidad, déficit de la función, hinchazón, hematomas, dificultad a la hora de levantar el brazo, entumecimiento, etc.

Diagnóstico

El diagnóstico puede ser determinado por la exploración física de un médico de los signos y síntomas anteriormente explicados, la realización de radiografías o, también, mediante una tomografía computarizada (TC).

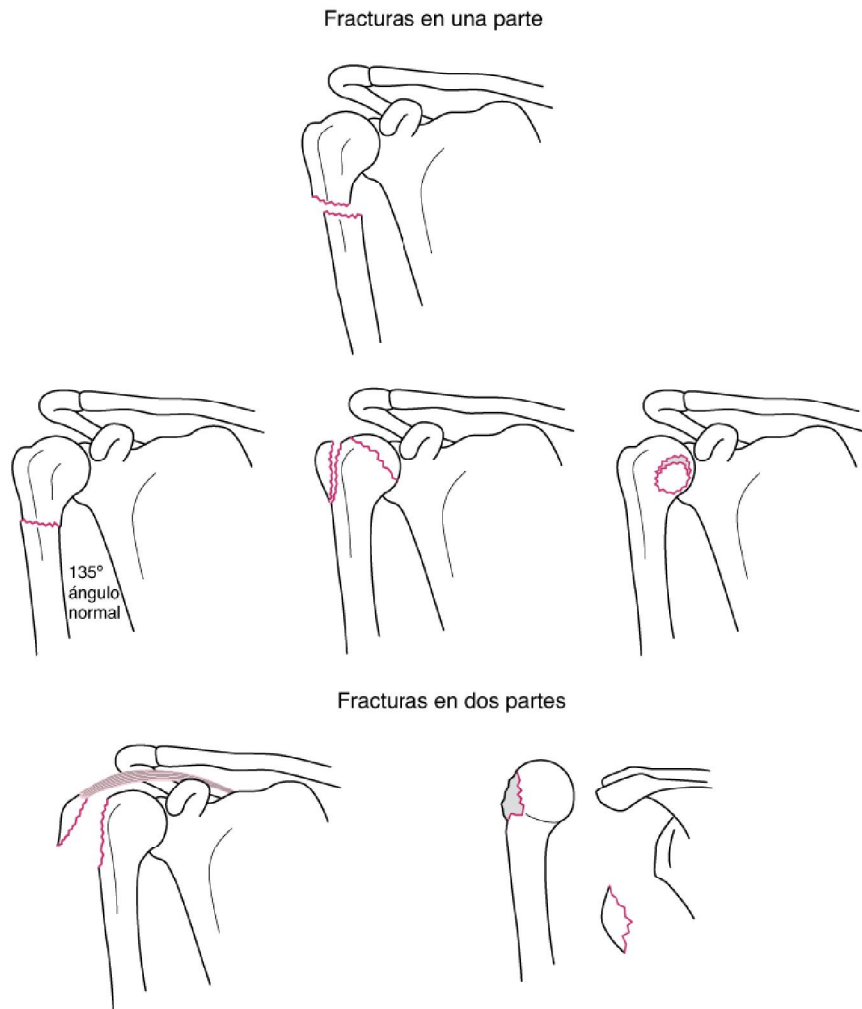


Figura 2.2: Fracturas del hombro.



Figura 2.3: Ejemplo de radiografía (Aguado, Ariño, Moreno-Mateo, Bustinza, Simón-Pérez, Martínez-Zarzuela, García-Virto, Ventura & Ángel Martín-Ferrero 2018).

Proporcionar al médico información sobre cómo se produjo la lesión es de suma importancia ya que le puede ayudar a determinar de qué tipo de lesión se trata, o qué ligamentos o huesos están afectados. Por ejemplo, indicar cuándo empezó el dolor o en qué dirección se forzó la articulación en el momento de la lesión.

En muchas ocasiones una radiografía es la prueba suficiente para diagnosticar la fractura. A veces se toman radiografías con diferentes ángulos para visualizar fracturas ocultas. Un ejemplo de radiografía se puede visualizar en la figura 2.3.

Las radiografías son capaces de mostrar el hueso y el líquido que se acumula alrededor de la articulación lesionada. Las radiografías únicamente toman un sólo plano, por lo que a veces no están claras y entonces se lleva a cabo una tomografía computarizada, que permite generar una reconstrucción en tres dimensiones. La TC combina los rayos X con la tecnología computarizada para obtener una imagen más detallada, tridimensional como ya se ha mencionado, de la zona lesionada (MedlinePlus 2018).

Tratamiento

La elección de tratamiento para fracturas de hombro hoy en día es discutible (Court-Brown, Garg & McQueen 2001). No existen conclusiones definitivas sobre qué tipo de tratamiento a seguir es el mejor para dichas fracturas y cuándo debe considerarse un tratamiento quirúrgico (Kjaersgaard-Andersen 2009).

La incidencia de estas fracturas se ha visto aumentada debido al incremento de la esperanza de vida de la población anciana. Por otra parte, la expectativa de una mejor calidad de vida ha intensificado el nivel de actividad y de demandas de pacientes ancianos que padecen osteoporosis (Aguado, Mingo, Torres, Alvarez-Ramos & Martín-Ferrero 2016).

El tratamiento a seguir en una fractura de hombro depende del número de fragmentos en los que se ha dividido el hueso y el grado de desplazamientos de éstos. Dichos tratamientos pueden consistir desde la colocación de un cabestrillo hasta la realización de una cirugía. A menudo se utiliza fisioterapia para ayudar a restaurar el movimiento de la articulación.

Las fracturas de una parte rara vez requieren tratamiento quirúrgico. Con inmovilización en un cabestrillo y ejercicios es suficiente. Estos ejercicios son particularmente útiles para las personas mayores. Debido a que las contracturas son un riesgo y la movilización precoz es deseable (efisioterapia 2007).

Rehabilitación

El objetivo de la rehabilitación es recuperar la independencia del paciente lo antes posible. Para ello se han llevado a cabo diferentes tratamientos quirúrgicos y se ha demostrado que proporcionan mejores resultados funcionales después de 1 y 3 meses de seguimiento en comparación con el tratamiento conservador, basado en 3 semanas de completa inmovilización.

Los tratamientos no quirúrgicos generalmente implican un período de inmovilización, como un cabestrillo de brazo, seguido de fisioterapia. La inmovilización de la extremidad lesionada proporciona apoyo y alivio del dolor durante la curación. Sin embargo, existe el riesgo de que el hombro se vuelva rígido y doloroso con una reducción sustancial de la función. Esta situación implica casi un mes de dependencia, que para un paciente anciano a veces significa la pérdida definitiva de una vida independiente. Esto contribuye a un gran aumento de los costes para el sistema sanitario. La fisioterapia y los ejercicios posteriores tienen como objetivo restaurar la función y la movilidad del brazo lesionado.

El tiempo de espera para la fisioterapia puede ser mayor en los sistemas de rehabilitación sobresaturados, lo que retrasa la independencia en pacientes frágiles. Por lo tanto, se han utilizado diferentes estrategias para la movilización temprana con la expectativa de una recuperación más rápida en el tratamiento conservador.

El nivel de los ejercicios de la rehabilitación que se le asignan a cada paciente depende del dolor que éste padece. Para verificar las habilidades del paciente, éstos realizan los ejercicios en las visitas de seguimiento, y se realizan correcciones en el rendimiento del ejercicio si es necesario. El programa de auto-ejercicios basado en el hogar consiste en (Aguado, Ariño, Moreno-Mateo, Bustinza, Simón-Pérez, Martínez-Zarzuela, García-Virto, Ventura & Ángel Martín-Ferrero 2018):

- Los ejercicios pasivos de rango de movimiento comienzan el día del diagnóstico, con una intensidad y una amplitud del ejercicio dependiendo del dolor,

nivel de actividad y progresión. Se realizan tres ejercicios durante las primeras tres semanas:

- El «péndulo» u «olla de cocción»: con el tronco flexionado y la mano ilesa apoyada sobre un elemento estable para evitar caídas, la extremidad superior lesionada se cuelga perpendicular al suelo debido a la gravedad. Suavemente, la extremidad herida se mueve de manera holgada en círculos, de lado a lado y hacia adelante y atrás.
 - La «oración»: en decúbito supino, con los dedos de ambas manos entrelazados, la extremidad no lesionada se eleva por encima de la cabeza, llevando pasivamente la extremidad lesionada en una flexión pasiva hacia adelante.
 - La «escalera»: frente a una pared, la palma de la extremidad lesionada se coloca en la pared a la altura del abdomen; los dedos suben hacia arriba hasta que se siente un leve dolor. La mano descansa en esa posición durante 15 segundos y luego intenta subir 5 cm más, descansando en esa nueva posición superior otros 5 a 15 segundos. Si se necesita ayuda, la otra mano puede ayudar a empujar hacia arriba desde la muñeca. El ejercicio de «escalera» es un ejercicio de autoayuda activo y generalmente se inicia durante la segunda semana.
- Los ejercicios activos asistidos comienzan después de tres semanas. El paciente realiza movimientos en todos los arcos de movimiento con la ayuda de un bastón sostenido con ambas manos: flexión hacia adelante, aducción cruzada, abducción, rotación externa (el palo sobre la cabeza y detrás del cuello o con el codo flexionado 90° y el brazo a lo largo del tronco) y rotación interna (el palo detrás de los muslos). La rotación externa e interna se pueden aumentar sujetando el palo con ambas manos en la parte posterior: para rotación externa, la mano lesionada sobre el hombro lesionado y la mano ilesa en rotación interna sobre la región lumbar; para rotación interna, la mano lesionada en rotación interna lo más cerca posible de la región lumbar y la mano ilesa sobre el hombro sano en rotación externa. El palo puede ser sustituido por un trozo de tela o una banda elástica. Para una mayor comodidad, todos los ejercicios se pueden realizar en el agua. Los ejercicios de péndulo se realizan con 1 kilogramo como máximo.
 - Ejercicios activos sin resistencia: después de 6 semanas, los pacientes pueden realizar un entrenamiento activo específico en todos los arcos de movimiento. También comienzan los ejercicios isométricos: apoyarse en una pared con las manos y comprimir una pelota entre ambas manos. Se permite el levantamiento de pesas progresivo dependiendo del dolor. Los ejercicios activos que involucran actividades diarias se realizan progresivamente desde el primer día después del trauma.
 - Ejercicios de fortalecimiento (resistencia activa): después de 11 semanas, comienza el fortalecimiento muscular. Con una banda elástica (resistencia más baja) atada a un pomo de la puerta, se le pide al paciente que haga

repeticiones de diferentes movimientos del hombro: flexión hacia adelante, extensión, abducción, aducción; La fuerza de rotación externa e interna se gana en el plano de la escápula con el brazo a lo largo del tronco, en aducción neutra (codo flexionado 90°). Una vez se gana fuerza y el paciente tiene más confianza, la rotación externa es también hecha en 90° de abducción (codo flexionado 90°).

La aplicación móvil consiste en una serie de ejercicios que completan el programa de rehabilitación mencionado anteriormente y que están organizados por semanas. A cada semana que pasa, se realizan los ejercicios anteriores y los nuevos. Respetando siempre los límites del dolor tolerable (of Orthopaedic Surgeons n.d.)(Hernández 2017c).

- **Semana 1:** Inmovilización, decoaptación. Durante esta semana se practican los ejercicios pendulares de Codman. En los cuales el paciente se dobla por la cintura con el brazo afectado colgando hacia abajo, perpendicular al suelo. El paciente lentamente gira el brazo de lado a lado, hacia adelante y atrás. También en círculos en ambos sentidos. Estos ejercicios se pueden observar en la figura 2.4.
- **Semana 2:** Activos autoasistidos. Este ejercicio consiste en realizar flexiones asistidas con mano contralateral, pudiéndose utilizar un palo para asistirse.
- **Semana 3:** Activos asistidos. Se vuelven a realizar ejercicios pendulares pero cargando con un peso de entre medio y un kilogramo. Ejercicios de flexión y abducción en escalera sobre pared. También se realizan ejercicios con polea o con toalla sobre la puerta.
- **Semanas 4 a 6:** Rotaciones asistidas. Rotaciones en abducción autoasistidas o asistidas con un palo y rotaciones avanzadas con toalla o palo por la espalda.
- **Semanas 7 a 10:** Activos no resistidos más isométricos. En estas semanas se realizan flexiones sobre la pared. También se hace uso de un balón realizando presión sobre él con ambos brazos.
- **Semana 10 en adelante:** Resistidos. Estos ejercicios se realizan estirando una goma elástica con el brazo fracturado. Primero pisando la banda elástica y tirando de ella hacia arriba y a continuación atando la banda elástica al pomo de una puerta y repitiendo la dinámica.

2.2. Auto-fisioterapia

El objetivo de la rehabilitación consiste en recuperar la movilidad de la articulación dañada para que el paciente sea capaz de realizar las actividades



Figura 2.4: Ejercicios de Codman.

diarias habituales (como vestirse, asearse, bañarse, alimentarse, cocinar, y hacer la compra). Para ello es necesaria la fisioterapia o un programa de ejercicios. Ambos se pueden llevar a cabo en el domicilio del paciente si su movilidad es limitada. Muchos pacientes son personas mayores que viven en zonas rurales, lejos del centro médico, y desplazarse para realizar la fisioterapia supone un esfuerzo. Gran parte de las personas en la tercera edad no saben conducir o han perdido la habilidad o costumbre, por lo que son dependientes a la hora de trasladarse. Además, el transporte público en zonas rurales o alejadas del núcleo urbano es poco frecuente y hace someter al paciente a horarios, debido a la rigidez de itinerarios o trayectos.

Por lo tanto, una aplicación de Smartphone, donde los pacientes pueden ver los vídeos explicativos y llevar a cabo la terapia en sus domicilios, es muy útil para volver a recuperar la movilidad de manera eficiente. Además, el médico puede tener un seguimiento del paciente, controlando los tiempos que su paciente ha empleado en cada ejercicio y en qué día. También, tras la visualización de cada vídeo, se hacen una serie de cuestiones sobre cómo debe realizarse el ejercicio. De esta manera nos aseguramos que el paciente ha visto y comprendido el vídeo explicativo (Hernández 2017b).

Los pacientes consiguen llevar la terapia de una forma más continua que si tuvieran que desplazarse hasta su centro médico y, por lo tanto, igualmente logran una recuperación temprana.

2.3. Conclusiones

La auto fisioterapia mediante una App de móvil podría convertirse en una alternativa útil para facilitar la fisioterapia, que hoy en día está dificultada como ya se ha explicado, y complementar la terapia tradicional, donde el paciente visita a su médico cada cierto tiempo en su consulta y lleva a cabo los ejercicios

bajo su supervisión. Sin embargo, este Trabajo de Fin de Grado no se centra en esta problemática.

La nueva metodología de auto-fisioterapia a través de vídeos explicativos ha sido probada con pacientes y se han obtenido resultados favorables. Por esa razón se ha decidido implementar este método en un dispositivo móvil, de manera que facilite aún más la auto-fisioterapia para que se continúe practicando. El principal objetivo consiste en desarrollar una App que facilite y agilice la realización de los ejercicios, de manera que el paciente logre una mayor constancia y autonomía a la hora de llevar a cabo la terapia. La persistencia en completar la terapia podría traducirse a una recuperación más rápida y eficiente.

La aplicación para Smartphone se ha presentado a la comunidad científica en «Advanced Trauma Symposium» de Barcelona (Aguado, Zarzuela, Macarulla & Calabia 2018).

Capítulo 3

Diseño y desarrollo de la aplicación

En este capítulo desarrollaremos los primeros pasos que se llevaron a cabo para la realización del proyecto. Comenzaremos comentando la situación actual de la tecnología relacionada con este Trabajo Fin de Grado. A continuación detallaremos el sistema operativo empleado y la metodología seguida, explicando las fases que se han llevado a lo largo del trabajo.

3.1. Estado del arte

Existen diversos programas de rehabilitación de fracturas, disponibles en sitios web o en aplicaciones móviles.

En cuanto a páginas web, cabe destacar Ejercicio después de cirugía del hombro (Shoulder Surgery Exercises) (of Orthopaedic Surgeons n.d.), la cual tiene ejercicios muy similares a los del programa del traumatólogo colaborador del proyecto. Sin embargo, dicha página web sólo cumple con la función de informar. No sigue ningún control sobre el paciente ni un control temporal.

Asimismo contamos con el programa en YouTube del traumatólogo colaborador, en donde se muestran una serie de vídeos explicativos de cada uno de los ejercicios que componen la terapia (Hernández 2017a). De igual manera, aunque sí que indique en qué momento de la rehabilitación el paciente debe hacer qué ejercicios, no sigue un control del paciente.

En lo referente en aplicaciones móviles, existen varias páginas web donde hay un listado de diferentes aplicaciones que se utilizan actualmente. Estas páginas nos da información del sistema operativo que soportan estas aplicaciones, así como de su precio y localización (Physiopedia n.d.)(Staffing n.d.). El inconveniente es que la mayoría son únicamente compatibles con el sistema operativo iOS y la mayoría de los pacientes disponen de Smartphones compatibles con Android. Además están sólo disponibles en inglés y ninguna está especializada en fracturas de húmero proximal. Asimismo, el acceso a la gran mayoría de

estas aplicaciones es complicado ya que es necesario tener una cuenta, ya sea suscribiéndose por correo electrónico o mediante un permiso del centro médico que ha creado la aplicación.

Por lo tanto, este proyecto aportaría una nueva herramienta específica para fracturas de hombro. Sencilla de utilizar ya que no requiere suscripción y además cuenta con una interfaz amigable. Útil tanto para el paciente, que puede hacer uso de un programa que lo guía a lo largo de la terapia, como para el médico, que puede llevar un seguimiento de sus pacientes.

3.2. Sistema operativo

Hay muchos sistemas operativos para móviles. En este proyecto, nos centramos en dos de ellos por ser los más utilizados en el mundo, iOS y Android (Digital55 2017).

El sistema operativo iOS pertenece a la multinacional Apple Inc., cuenta con una cuota de mercado de entre 10-15 % al año 2017 (Alviz 2013). A pesar de ser menos utilizado que Android a nivel mundial, lo tuvimos en cuenta ya que muchos de los médicos lo usan. También nos planteamos la posibilidad de trabajar para ambos sistemas operativos mediante Xamarin. Las herramientas de las que dispone Xamarin permiten crear aplicaciones móviles nativas para Android, iOS y Windows. Sin embargo, existe menos documentación y fuentes para aprender a manejar y programar con Xamarin y para los sistemas operativos iOS, por lo que descartamos esta opción.

Por lo tanto, finalmente optamos por Android. No sólo por contar con mayor cantidad de información acerca de su funcionamiento, sino por ser líder mundial en lo referente a utilización. La aplicación está destinada a los pacientes, los cuales, en su mayoría, disponen de dispositivos Android.

3.3. Metodología: modelo en espiral WIN-WIN

El desarrollo en espiral es un modelo de ciclo de vida del software definido en 1986 por primera vez por Barry Boehm (Boehm 2000). Las diversas actividades de este modelo se conforman en una espiral, formada por iteraciones o bucles, como se puede ver en la figura 3.1. Cada iteración tiene una serie de actividades las cuales se eligen en función del análisis de riesgo del bucle anterior (Gurendo 2015).

Para empezar se analizan las posibles alternativas de desarrollo, se opta por la de riesgo más asumible y se hace un ciclo de la espiral. A medida que el cliente desea ir realizando mejoras en el software, se vuelve a evaluar las distintas nuevas alternativas y riesgos y se realiza otra vuelta de la espiral. Así sucesivamente hasta que llegue un momento en el que el producto desarrollado sea aceptado y no necesite seguir mejorándose con otro nuevo ciclo.

Cada ciclo o iteración consta de tres fases:

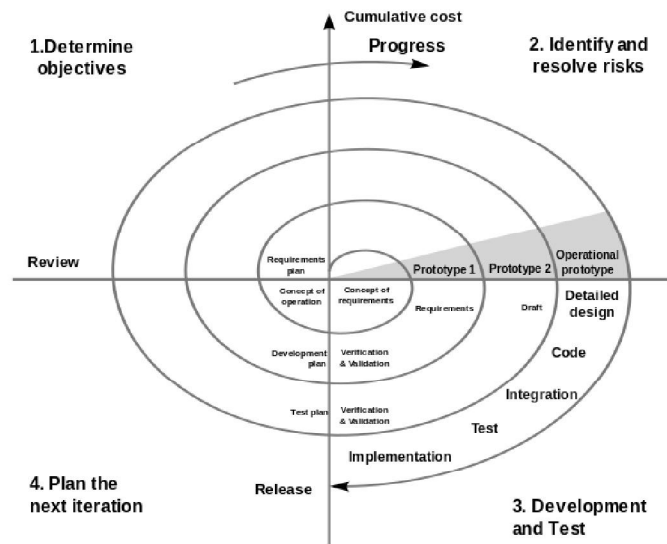


Figura 3.1: Modelo en espiral.

- La primera consiste en marcar los objetivos. El cliente debe especificar qué opciones y funcionalidades ofrecerá el producto a desarrollar.
- La segunda fase evalúa las alternativas y analiza los riesgos para minimizarlos. Por ejemplo, invertir tiempo para testear el software del producto reduce el riesgo de lanzar al mercado un producto de mala calidad. Sin embargo, ese tiempo adicional aumenta el riesgo de que aumente la competencia en el mercado. Por lo tanto el objetivo del modelo en espiral es reducir el riesgo total.
- La tercera fase se centra en el desarrollo del software e implementación. Probando el software en diferentes dispositivos.

El modelo en espiral cuenta con varias ventajas. La primera consiste en que dicho modelo puede adaptarse y aplicarse a lo largo de la vida del software de computadora. Como el software evoluciona a medida que progresa el proceso, el desarrollador y el cliente comprenden y reaccionan mejor ante riesgos en cada uno de los niveles evolutivos. Asimismo, el modelo en espiral demanda una consideración directa de los riesgos técnicos en todas las etapas del proyecto y, si se aplica adecuadamente, debe reducir los riesgos antes de que se conviertan en problemas.

El modelo en espiral WIN-WIN es una variación del modelo en espiral. El modelo WIN-WIN, a diferencia de otros modelos de desarrollo de software, se centra en la colaboración del cliente durante el proceso de desarrollo del producto.

La teoría WIN-WIN es una negociación donde de forma comunicativa todas las partes aportan sus objetivos, creando una empatía mutua hasta llegar a un acuerdo común donde todos salen beneficiados. En este caso el objetivo no es conseguir lo más barato, si no conseguir un acuerdo justo que asegure una buena relación entre las partes ya que estas se verán comprometidas a cumplir su parte del trato (Hygorys 2010).

Su nombre en español se traduce «ganar-ganar», ya que el cliente recibe el producto que satisface gran parte de sus necesidades mientras que el desarrollador trabaja alcanzando presupuestos y fechas límite. Una de las ventajas de este modelo es que al no ser rígido, se pueden llevar a cabo mejoras y nuevos requerimientos sin cambiar la metodología gracias a la retroalimentación que se recibe del cliente constantemente (Jummp 2011).

3.3.1. Requisitos y funcionalidades

En cada iteración del bucle se tenía una reunión con el traumatólogo colaborador del proyecto para revisar el trabajo de la iteración anterior y determinar los nuevos objetivos de la siguiente, con el fin de corregir fallos y mejorar el software.

En el primero ciclo, la funcionalidad primordial consistía en desarrollar una aplicación que mostrara todos los vídeos explicativos, junto con un breve resumen de cada uno de ellos. A grandes rasgos, esta primera parte satisfacía las mismas necesidades que el canal del traumatólogo colaborador de YouTube, orientada para un dispositivo Smartphone. En este momento tuvimos que decidir si los vídeos se visualizaban en streaming, de tal manera que el usuario necesita estar conectado a Internet, o incluirlos en la aplicación, así el usuario no tendría la obligación de tener una conexión a Internet. La mayor parte de los pacientes son personas mayores, de los cuales muchos viven en zonas rurales con escaso acceso a la red. Por lo que optamos por incluir el contenido multimedia en la aplicación. Una desventaja es que los vídeos ocupan mucho espacio de almacenamiento en la memoria del dispositivo. La solución a este problema fue comprimir los vídeos, reduciendo ligeramente su resolución. Logramos disminuir el espacio ocupado de información alrededor del 93%, como se puede ver en la tabla 3.1, con herramientas de edición online de compresión de vídeos (Clipchamp 2018).

Nombre del vídeo	Tamaño antes de comprimir	Tamaño después de comprimir	Porcentaje de reducción
Video 1 Autofisioterapia consideraciones generales.	100 MB	8,93 MB	91,07 %
Video 2 Autofisioterapia hombro pendulares.	56,8 MB	4,36 MB	92,32 %
Video 3 Autofisioterapia hombro elevación decúbito.	39,8 MB	3,22 MB	91,91 %
Video 4 Autofisioterapia hombro elevación con palo.	50,8 MB	2,91 MB	94,27 %
Video 5 Autofisioterapia hombro Elevación sedestación.	33,1 MB	2,93 MB	91,15 %
Video 6 Autofisioterapia hombro Elevación con palo	26,1 MB	1,87 MB	92,84 %
Video 7 Autofisioterapia hombro Pendulares con peso.	60,9 MB	4,23 MB	93,05 %
Video 8 Autofisioterapia hombro elevación escalera.	40,9 MB	2,69 MB	93,42 %
Video 9 Autofisioterapia hombro separación escalera.	53 MB	3,47 MB	93,45 %
Video 10 Autofisioterapia hombro con polea.	78 MB	6,05 MB	92,24 %
Video 11 Autofisioterapia hombro rotaciones con palo.	84,6 MB	6,27 MB	92,59 %
Video 12 Autofisioterapia hombro rotaciones avanzadas.	81,8 MB	6,42 MB	92,15 %
Video 13 Autofisioterapia flexiones en la pared.	39,7 MB	3,03 MB	92,37 %
Video 14 Autofisioterapia comprimir pelota.	43,3 MB	3,24 MB	92,52 %
Video 15 Autofisioterapia fuerza con banda elástica.	128 MB	8,35 MB	93,48 %
Total	916,8 MB	67,97 MB	92,59 %

Cuadro 3.1: Tamaño de almacenamiento en memoria.

En el segundo ciclo, ampliamos la aplicación añadiendo una pantalla donde se recogían los datos del paciente usuario de la App. Estos datos son el nombre, la edad, la fecha cuando se produjo la fractura o se realizó la operación quirúrgica y, por último, la fecha cuando se inicia la terapia de rehabilitación. Con esta información podemos personalizar la terapia y adaptarla en función del tiempo que ha pasado desde que el paciente se fracturó o se operó. Además, la lista de ejercicios se modifica y muestra aquellos que debe realizar el usuario en la semana correspondiente. La aplicación también cuenta con la opción de editar estos datos en el caso de que el paciente lo deseara.

A continuación, nos centramos en el desarrollo de los diferentes ejercicios de la rehabilitación en el tercer ciclo del bucle. Agregamos una voz en off que guía al paciente marcando el ritmo del ejercicio mientras realiza la actividad. Esta voz en off es una serie de mandatos, reproducidos a una velocidad y tantas veces como haya determinado el paciente. Por ejemplo, si la actividad consiste en levantar y bajar el brazo, la voz en off dirá «arriba y abajo» varias veces, espaciadas en un tiempo inversamente proporcional a la velocidad escogida. Esta acción se repetirá el número de veces que desee al usuario (Hernández 2017 *d*). La aplicación se encarga de cronometrar el tiempo que el paciente está realizando el ejercicio para posteriormente guardarlo y registrar la actividad para mostrarla a su médico.

Incluimos un cuestionario tras la visualización de cada vídeo, con preguntas relacionadas al ejercicio que el usuario va a realizar. De esta manera, nos aseguramos que el paciente entiende cómo debe realizar la actividad. Si acierta las preguntas, no se le vuelven a repetir. Sin embargo, si la respuesta que da es errónea, cuando vuelva a visualizar el vídeo se le volverá a preguntar dicha cuestión.

En el cuarto y último ciclo, añadimos una serie de funcionalidades orientadas al médico. En primer lugar, y como ya hemos comentado en el anterior ciclo, registramos la actividad realizada por el paciente. Tanto el tiempo empleado en cada ejercicio como las preguntas respondidas, acertadas o no, de cada vídeo. Todo ello lo mostramos en dos gráficas. La primera es un gráfico circular con las preguntas sin responder en color gris, las preguntas bien respondidas en verde y las erróneas en rojo. Se puede visualizar en la figura 3.2. La segunda gráfica es de barras, y representa el tiempo empleado en minutos por cada uno de los ejercicios (figura 3.3). Además, al hacer click en la barra de un ejercicio en particular, se mostrará una nueva gráfica de barras que representa el tiempo empleado en minutos de ese ejercicio en cada día (figura 3.4).

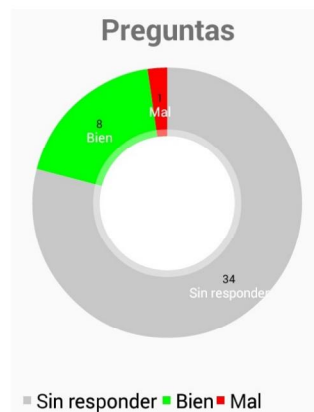


Figura 3.2: Gráfica circular de preguntas.

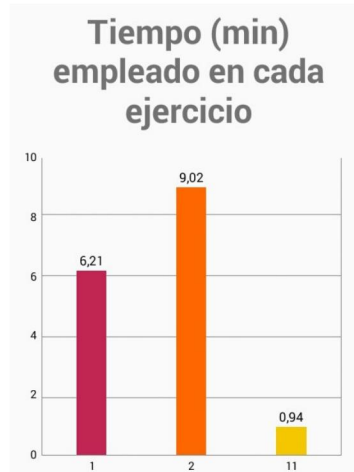


Figura 3.3: Gráfico de barras del tiempo empleado en cada ejercicio.



Figura 3.4: Gráfico de barras del tiempo empleado en un ejercicio en concreto.

3.3.2. Diseño

Para llevar a cabo el diseño, el médico colaborador del proyecto realizaba unos bocetos en papel de las pantallas que deseaba que tuviera la aplicación. Al inicio ésta contaba con tres pantallas, una página de inicio (figura 3.5), un listado con todos los ejercicios y una pantalla donde se visualizara el vídeo y se pudiera leer una breve descripción del ejercicio a realizar (figura 3.6).

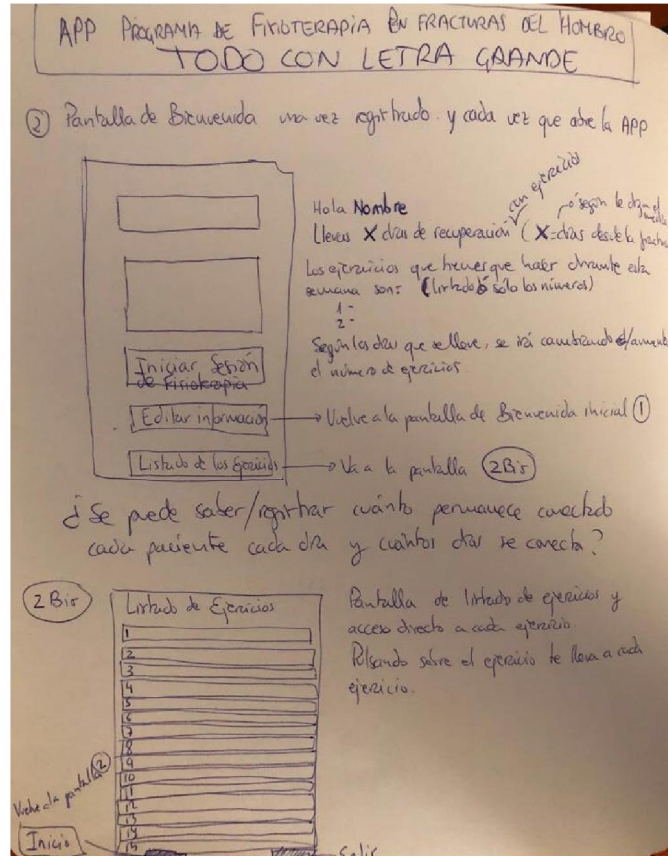


Figura 3.5: Boceto a papel de la pantalla de bienvenida y la lista de ejercicios.



Figura 3.6: Boceto a papel de la pantalla del ejercicio.

Los puntos clave del diseño consistían en realizar una aplicación sencilla, con pocos botones y llamativos, acompañados de un texto indicando qué función realizan. Además, la tipografía debe ser lo suficientemente grande como para que personas mayores con dificultad en la visión fueran capaces de verla sin problemas.

A medida que desarrollábamos la aplicación, fuimos incluyendo nuevas pantallas, como la de las gráficas que recogen los datos estadísticos del paciente. Cumpliendo con los objetivos de diseño anteriormente mencionados.

3.3.3. Desarrollo

El entorno de desarrollo que se ha empleado para la realización de la aplicación es Android Studio (figura 3.7). Android Studio es el entorno de desarrollo integrado (IDE) oficial para el desarrollo de aplicaciones para Android y se basa en IntelliJ IDEA (JetBrains 2018). Una de las ventajas de este entorno de desarrollo es que cuenta con un emulador con todos los dispositivos Android, además también incluye un editor XML y una vista de diseño para organizar elementos en la pantalla. El lenguaje de programación oficial que se emplea es Java, un lenguaje de propósito general, concurrente, orientado a objetos. Aunque Android Studio también soporta C++ y Kotlin (Developers 2018b).



Figura 3.7: Logo de Android Studio.

Existen otros entornos de desarrollo, como por ejemplo Xamarin que es multiplataforma (figura 3.8). Este entorno ofrece apps nativas para iOS, Android y también para Windows 10. La desventaja es que es considerablemente menos práctico acceder y usar bibliotecas escritas en Java y se pierde parte del soporte de Google y funciones integradas avanzadas (Gómez 2016).



Figura 3.8: Logo de Xamarin.

Eclipse (figura 3.9) era el entorno de desarrollo que se empleaba antes de existir Android Studio. Este IDE admite diversos lenguajes de programación, entre ellos Java con Android SDK. Sin embargo este entorno no se usa hoy en día ya que está obsoleto (Sinicki 2018).



Figura 3.9: Logo de Eclipse.

Optamos por el entorno de desarrollo Android Studio por su fácil manejo, las posibilidades que ofrece y por haber gran documentación y tutoriales sobre este IDE.

3.3.4. Implementación de la App y pruebas en diversos dispositivos

Hemos hecho diversas pruebas en diferentes dispositivos, tanto Smartphone como Tablets. También hemos comprobado el funcionamiento con diferentes versiones de Android. De tal manera que a la hora de desarrollar la aplicación se ha tenido en cuenta que las funcionalidades que ofrecía la aplicación fueran compatibles con versiones de Android antiguas. Además, el aspecto de los contenidos que se muestran es similar en los diferentes dispositivos, como se puede observar en las figuras 3.10 y 3.11. Donde se ha hecho una captura de la página de inicio con un Smartphone Huawei Y635-L01 con versión de Android 4.4.4 y una Tablet Nexus 7 con versión 8.1.

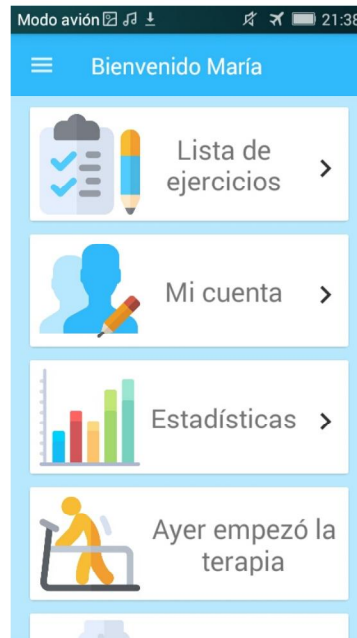


Figura 3.10: Pantalla de bienvenida visualizada desde un Smartphone Huawei Y635-L01.

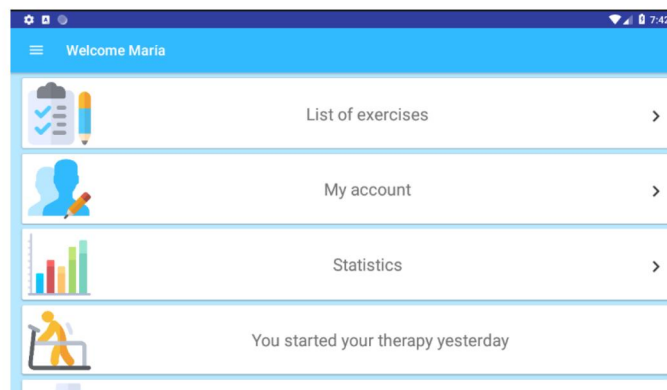


Figura 3.11: Pantalla de bienvenida visualizada desde una Tablet Nexus 7.

Capítulo 4

Aplicación móvil

En este capítulo se describen el funcionamiento y estructura global de la aplicación Android. Cómo se muestran los diferentes ejercicios de la terapia y cómo se tratan los datos recogidos del paciente.

4.1. Aspectos generales

El objetivo fundamental de esta aplicación es el de complementar la rehabilitación de los pacientes que han sufrido una fractura de hombro y desean recuperar la movilidad de esta articulación. Cumpliendo a su vez con la tarea de facilitar la labor del traumatólogo a la hora de controlar el correcto seguimiento de la terapia y ejecución de los ejercicios programados.

Además para darle mayor flexibilidad a la aplicación, se le pregunta al paciente cuándo se fracturó o tuvo lugar la operación quirúrgica. De esta manera, el programa a seguir se adapta a cada paciente. Otra funcionalidad añadida para que sea más sencilla de realizar la auto-fisioterapia, es una serie de audios con mandatos que marcan el ritmo al que se realiza el ejercicio. De igual manera, el ritmo se puede seleccionar en función de la capacidad del paciente.

Tanto el médico como el propio paciente pueden observar el avance de la terapia en unas gráficas de barras que muestran el tiempo empleado en cada ejercicio y los días que realizó dicho ejercicio. Asimismo se ha añadido un cuestionario que refuerza los conocimientos adquiridos en cada vídeo y aseguran la correcta ejecución de los ejercicios.

A continuación nos centraremos en las diversas pantallas o actividades de componen la aplicación, para explicar su funcionamiento.

4.2. Inicio de la App

La primera pantalla que se visualiza es la de inicio, con el logo y nombre de la App, mostrado en la figura 4.1.

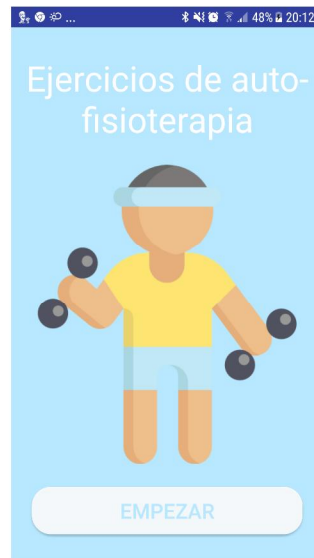


Figura 4.1: Pantalla de inicio.

A continuación se solicitan al usuario los datos pertinentes para llevar a cabo la auto-fisioterapia: el nombre, edad, fecha de fractura u operación y cuándo iniciará la terapia. En el caso de que el paciente no rellene alguno de estos campos, emergerá un mensaje pidiéndole que lo haga (figura 4.2).

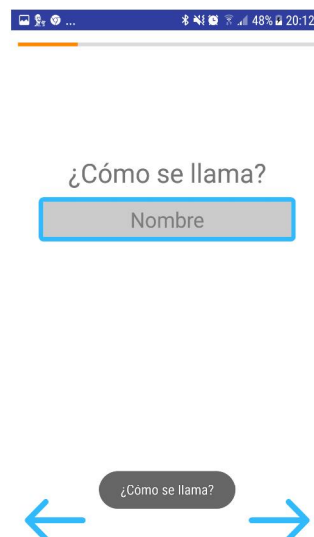


Figura 4.2: Mensaje emergente solicitando que rellene el nombre.

Además, se comprueba que la fecha de fractura u operación escogida no esté en el futuro, y que la fecha de inicio de la terapia sea posterior a la de la fractura u operación. Por último, se muestra una última pantalla resumiendo todos los datos que se acaban de pedir al usuario, figura 4.3.

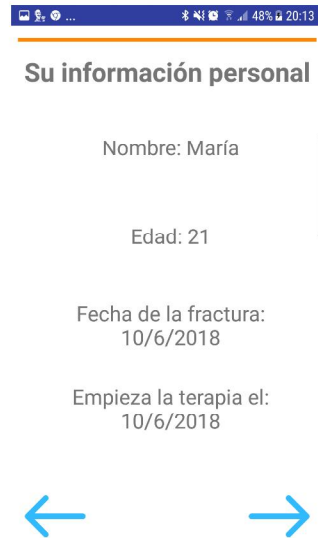


Figura 4.3: Pantalla con el resumen de los datos.

A continuación, se muestra un mensaje de advertencia donde el usuario debe estar de acuerdo para seguir utilizando la aplicación (figura 4.4).

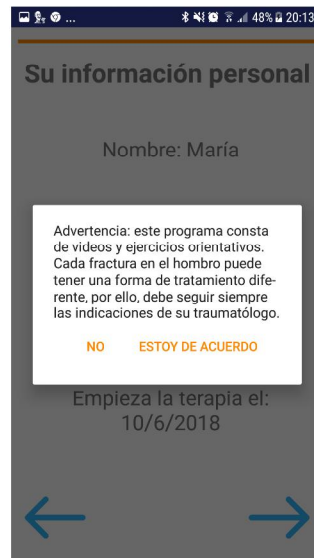


Figura 4.4: Pantalla con el resumen de los datos.

4.3. Menú principal

Una vez registrado el paciente, se muestra un menú principal donde el usuario puede acceder a la lista de ejercicios, a su perfil y a las estadísticas de su terapia. Además se le informa el tiempo que lleva con la fractura y la terapia. Todo ello se muestra en la figura 4.5. Además se ha incluido un panel de navegación, figura 4.6, para acceder a los diferentes sitios de la aplicación (lista de ejercicios, perfil, estadísticas, etc.).

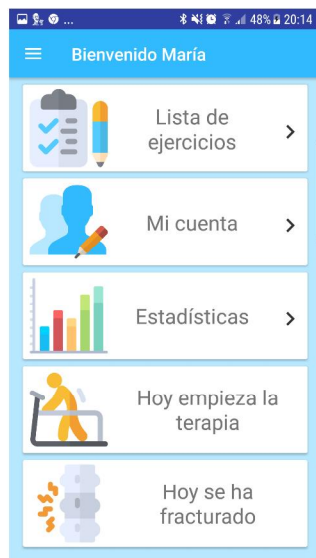


Figura 4.5: Menú principal.

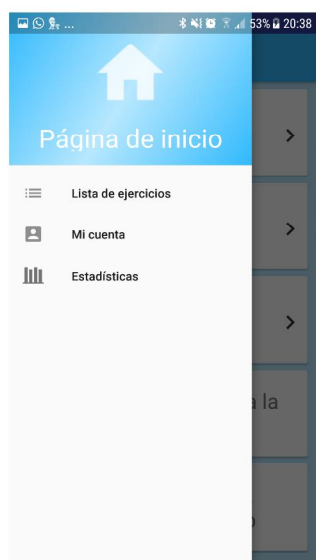


Figura 4.6: Menú de navegación.

4.4. Ejercicios

Al hacer click en la lista de ejercicios del menú principal mencionado en la sección 4.3, se muestra la pantalla mostrada en la figura 4.7. La cual muestra todos los ejercicios al completo. Si se presiona el botón «esta semana» que está en la parte inferior izquierda, se cambia a la pantalla de la figura 4.8, donde sólo están los ejercicios que le corresponden al paciente durante esa semana.



Figura 4.7: Lista de ejercicios totales.

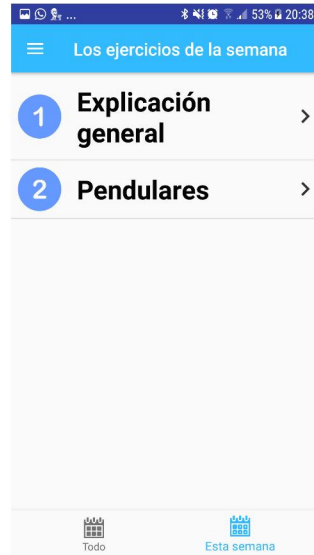


Figura 4.8: Lista de ejercicios de la semana.

Cuando el paciente va a realizar el ejercicio, selecciona la velocidad con la que se ejecutará el metrónomo de mandatos del ejercicio y el número de repeticiones (figura 4.9). A continuación, el usuario puede optar por ver el vídeo, o empezar el ejercicio directamente. Si decide ver el vídeo, al terminarlo le devuelve a este menú de nuevo. La pantalla visualizada en la figura 4.9 también cuenta con un botón que dirige de nuevo a la lista de ejercicios, y con otros dos botones (flechas) que llevan al ejercicio anterior o siguiente.



Figura 4.9: Pantalla de configuración del ejercicio.

Al pulsar el botón de «empezar ejercicio», se inicia el cuestionario sobre el vídeo de ese ejercicio. Si el usuario responde bien a la pregunta, saldrá un mensaje con un médico informándole que ha acertado, en color verde y con un sonido de triunfo (figura 4.10). Por el contrario, si no acierta, el color será rojo y con un sonido de derrota (figura 4.11). Hemos empleado colores llamativos y muy representativos, junto con sonidos para que el paciente relacione con facilidad las ideas que el vídeo intenta transmitir para la realización correcta del ejercicio. Se registrarán las respuestas acertadas o no en la base de datos.

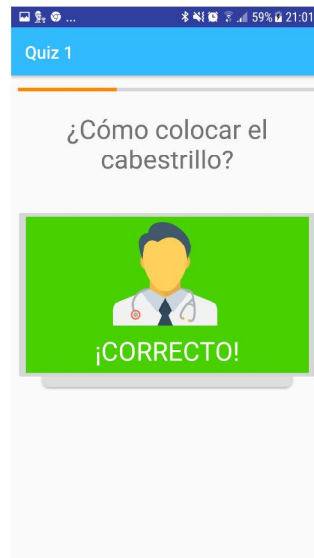


Figura 4.10: Pregunta acertada.



Figura 4.11: Pregunta no acertada.

La siguiente pantalla, representada en la figura 4.12, cuenta con cuatro botones, además de los ya mencionados para volver al menú del listado de ejercicios o cambiar al ejercicio anterior o siguiente, que sirven para iniciar el ejercicio, pau-

sarlo, cancelarlo o continuarlo. Dichos botones se mostrarán en gris si no están disponibles, y en color cuando sí lo estén. Al hacer click en inicio, se reproducirá una breve explicación (audio de inicio) y después los mandatos (audios de repetición) que indican cómo realizar el ejercicio y marcan el ritmo de éste. La secuencia de los audios está representado en el diagrama de flujo de la figura 4.13.

Cuando el usuario pulsa el botón de iniciar el ejercicio, se reproduce un audio de inicio como ya se ha mencionado. Después comienza con los mandatos. Cada vez que se ejecuta una orden o mandato, el programa evalúa si éste es el último. Si no lo es, reproduce el siguiente mandato. Si lo es, se comprueba si el paciente ha realizado todas las repeticiones. En el caso de que aún le queden, se vuelve a repetir toda la secuencia de audios de repetición. Si ha acabado con las repeticiones, se verifica si hay audios de inicio por ejecutar. Si no hay, el paciente ha terminado el ejercicio. Si hay, se reproduce el audio de inicio y se repite la secuencia correspondiente.

En el momento en el que el paciente termina el ejercicio, se registra en la base de datos el tiempo que ha empleado.

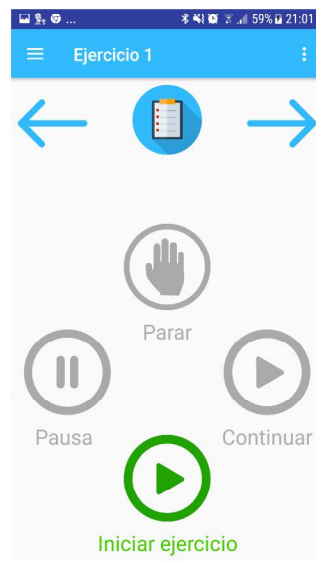


Figura 4.12: Pantalla donde se realiza el ejercicio.

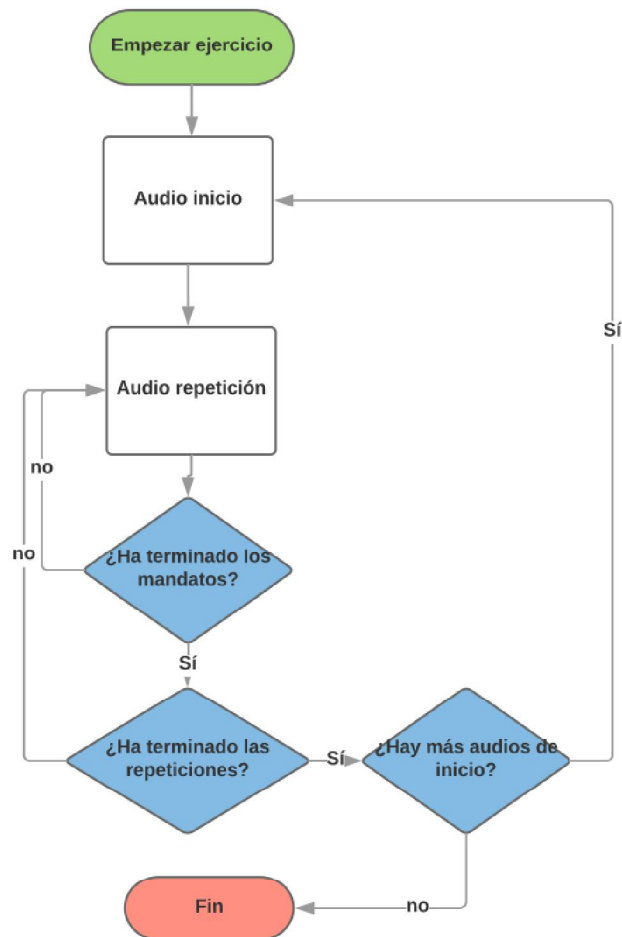


Figura 4.13: Diagrama de flujo del ejercicio diseñado mediante la herramienta LucidChart(LucidChart 2018).

4.5. Pantalla de estadísticas

Este apartado de la aplicación está dedicado principalmente al traumatólogo. Con el gráfico circular y las gráficas de barras puede informarse de cómo su paciente está siguiendo la terapia. Si ha empleado el tiempo necesario en cada ejercicio o si ha respondido correctamente a las preguntas de los vídeos que explican cómo llevar a cabo el programa de fisioterapia. En las figuras 4.14, 4.15 y 4.16, se muestra el gráfico circular de preguntas acertadas, el tiempo empleado en todos los ejercicios y las fechas en las que se realizó un ejercicio en concreto,

respectivamente.



Figura 4.14: Gráfico circular sobre cuestionario.

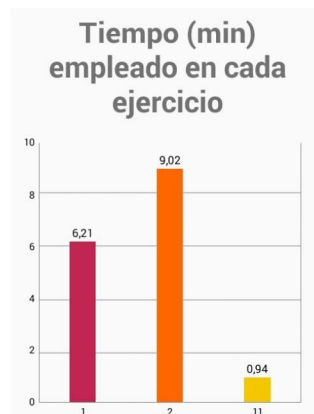


Figura 4.15: Gráfica de barras del tiempo empleado en cada ejercicio. Al pulsar sobre una barra, se abre una nueva gráfica como la de la figura 3.4.



Figura 4.16: Gráfica de barras del tiempo empleado en un ejercicio en diferentes fechas.

4.6. Base de datos

Para almacenar toda la información otorgada por el traumatólogo colaborador del proyecto (audios, vídeos, etc.), hemos creado una base de datos que se representa en la figura 4.17.

Por sencillez, hemos optado por una base de datos local, debido a que el programa de rehabilitación de fracturas de hombro ya está fijado y no va a sufrir cambios en un futuro. Por lo tanto no es necesario actualizar la aplicación con nueva información sobre la auto-fisioterapia. El sistema de gestión de bases de datos que se ha empleado ha sido SQLite ya que la base de datos que manejamos es local. Android también ofrece otros gestores como MySQL, pero éstos se emplean para extraer los datos de un servidor web (Android 2015).

A continuación se describe cada una de las tablas:

- Tabla Paciente: es creada por la aplicación del Smartphone y contiene los campos identificador de paciente, el nombre y edad, fecha cuando se fracturó o tuvo lugar la operación quirúrgica y fecha cuando se inicia la terapia.
- Tabla Actividad: al igual que la tabla de pacientes, esta tabla es creada por la propia aplicación. Los campos son: identificador de la actividad, identificador del paciente y ejercicio correspondientes, fecha cuando se realizó la actividad y su duración en mili-segundos.
- Tabla Ejercicio: la información que recoge la tabla la ha proporcionado el traumatólogo. Cuenta con un identificador de ejercicio, el nombre del ejercicio y una descripción de éste.

- Tabla Audio_Inicio: la información que recoge la tabla la ha proporcionado el traumatólogo. Contiene un identificador de audio de inicio, el texto del audio y el identificador del ejercicio al que corresponde.
- Tabla Audio_Repetición: la información que recoge la tabla la ha proporcionado el traumatólogo. Esta tabla contiene los diferentes audios de mandato para realizar el ejercicio. Tiene un identificador del audio de repetición, el texto del mandato, el número de veces que debe repetir el paciente el mandato para completar el ejercicio y el identificador del audio de inicia al que corresponde.
- Tabla Pregunta: la información que recoge la tabla la ha proporcionado el traumatólogo. Son las preguntas que se hacen al paciente en el cuestionario tras la visualización de cada vídeo. Esta tabla contiene el identificador de la pregunta, su texto y el identificador del ejercicio al que corresponde.
- Tabla Respuesta: la información que recoge la tabla la ha proporcionado el traumatólogo. Son las múltiples respuestas a las preguntas de la Tabla Pregunta. Esta tabla consta de un identificador de respuesta, el texto de la respuesta, un booleano indicando si la respuesta es correcta o no y, por último, un identificador de la pregunta a la que corresponde.
- Tabla Paciente-Pregunta: esta tabla la crea la aplicación y relaciona a los pacientes con las preguntas respondidas. Cuenta con un identificador de pregunta, identificador del paciente y un estado, que indica si el paciente respondió correctamente o no a la pregunta.

Los datos recogidos del paciente son plasmados en un fichero con extensión .sqlite. El traumatólogo puede recuperar este fichero del teléfono del paciente y convertirlo mediante herramientas online gratuitas a una hoja de cálculo Excel.

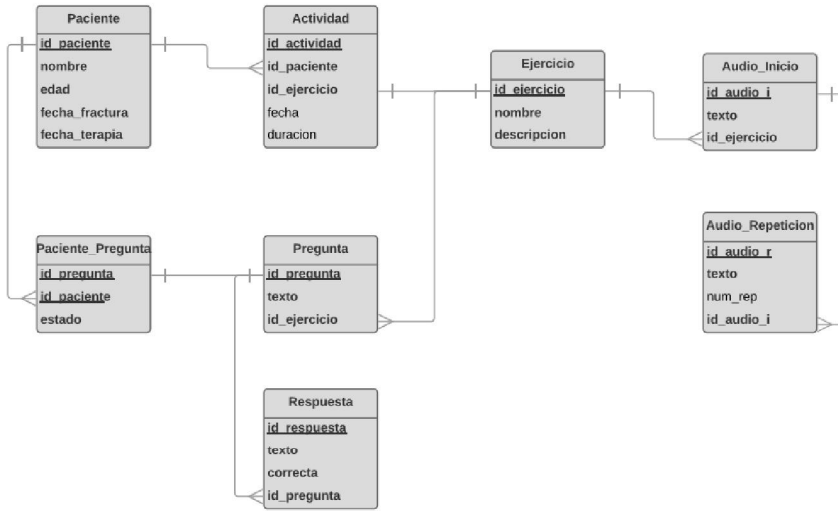


Figura 4.17: Base de datos empleada en la App.

Capítulo 5

Conclusiones y líneas futuras

En este capítulo se exponen las conclusiones llegadas tras la finalización del proyecto. Además se comentan diversos enfoques con posibles maneras de continuar la aplicación móvil y mejorarla.

5.1. Conclusiones

El objetivo principal de este Trabajo de Fin de Grado es desarrollar una aplicación que sirva para llevar a cabo una terapia de rehabilitación de fracturas de hombro desde el domicilio del paciente, evitando así que el paciente tenga que desplazarse a su centro médico para realizar la fisioterapia.

Dicho objetivo se ha cumplido, ya que la aplicación móvil muestra al usuario cómo debe realizar y seguir la terapia, a través de vídeos e instrucciones.

La primera conclusión a la que hemos llegado, es que la terapia es una fase de la recuperación del paciente muy importante. Dependiendo de si ésta la realiza de manera adecuada no, podrá disfrutar en un futuro de movilidad en la articulación afectada. Cuantos menos inconvenientes se le presenten al paciente para completar la terapia, mayor será la posibilidad de llevarla a cabo satisfactoriamente. Para ello, hemos logrado implementar el programa de ejercicios en el dispositivo Smartphone, que en cualquier momento está al alcance del usuario.

Como segunda conclusión, proponer nuevas formas originales y atractivas de llevar a cabo la rehabilitación, diferentes de las tradicionales, puede lograr una independencia del paciente, el cual realiza los ejercicios cuando desee, sin necesidad de concertar una cita con su médico. Esto ayuda a que el paciente afectado con la lesión no considere la rehabilitación como una obligación o carga de trabajo, y lleve a cabo los ejercicios con una frecuencia adecuada y de manera constante. Al igual que en la primera conclusión ya mencionada, el paciente completará la terapia satisfactoriamente.

En tercer lugar, no hay que perder de vista la información del paciente que se le debe proporcionar al médico para que pueda realizar un seguimiento adecuado. Para ello se cuenta con un sistema de recogida de datos. Esta herramienta permite al médico reaccionar a tiempo para ajustar el programa de ejercicios en caso de que la evolución del paciente sea diferente a la esperada.

5.2. Líneas futuras

Para que la aplicación móvil desarrollada resulte perfectamente validada, sería necesario realizar pruebas suficientes con pacientes que hayan sufrido una fractura en el hombro para así comprobar que la aplicación es realmente útil. Asimismo, se podrían realizar los ajustes necesarios, incluir respuestas a posibles nuevas necesidades no consideradas y mejorar la experiencia de usuario para que los pacientes usen la aplicación a menudo y completen la terapia de manera óptima.

Debido a la limitación de tiempo que comprende un Trabajo de Fin de Grado, sólo se ha podido desarrollar la aplicación para el sistema operativo Android. Crear una App compatible con dispositivos con sistema operativo iOS aumentaría el número de usuarios. Además, como se mencionó en la sección 3.2, la mayor parte del personal médico dispone de un dispositivo Smartphone con sistema operativo iOS. Desarrollar una aplicación similar para dicho sistema operativo permitiría a los traumatólogos experimentar con ella y recomendarla a sus pacientes en el caso de que satisfaga las necesidades de sus terapias de rehabilitación.

Una carencia que tiene esta aplicación es verificar que realmente el paciente está realizando los movimientos de los ejercicios del programa correctamente. Se podrían implementar sensores, tanto del propio dispositivo Smartphone como externos, para el seguimiento y control de los movimientos realizados por el paciente durante los ejercicios de la auto-fisioterapia. Así, el traumatólogo puede modificar la terapia y ajustarla a las necesidades del paciente.

Como última opción, podría desarrollarse una aplicación inteligente donde los ejercicios, en vez de ser adaptados por el médico a las capacidades y rendimiento del paciente, que fueran auto-regulables mediante un algoritmo de Machine Learning (González 2014), la opinión del paciente tras completar cada ejercicio y los datos recogidos por los sensores.

Bibliografía

- Aguado, H. J., Ariño, B., Moreno-Mateo, F., Bustinza, E. Y., Simón-Pérez, C., Martínez-Zarzuela, M., García-Virto, V., Ventura, P. S. & Ángel Martín-Ferrero, M. (2018), ‘Does an early mobilization and immediate homebased self-therapy exercise program displace proximal humeral fractures in conservative treatment? Observational study’, *Journal of Shoulder and Elbow Surgery* p. 9. Elsevier.
- Aguado, H. J., Mingo, J., Torrcs, M., Alvarcz-Ramos, A. & Martín-Ferrero, M. A. (2016), ‘Minimally invasive polyaxial locking plate osteosynthesis for 3-4 part proximal humeral fractures: our institutional experience’, *Injury* p. 6. Elsevier.
- Aguado, H. J., Zarzuela, M. M., Macarulla, M. & Calabia, J. (2018), Advanced Trauma Symposium, *in* ‘Hot Topics Trauma’, Auditorio AXA, Barcelona.
- Alviz, J. (2013), ‘iOS contra Android ¿quién gana la batalla?’. Fecha de última consulta: Diciembre 2017.
URL: <https://clipset.20minutos.es/ios-contra-android-quien-gana-la-batalla/>
- Android, A. (2015), ‘Uso de Base de datos en Aplicaciones Android’. Fecha de última consulta: Enero 2018.
URL: <https://academiaandroid.com/base-de-datos-en-android/>
- Boehm, B. W. (2000), *Spiral Development: Experience, Principles, and Refinements, software, COTS-Based Systems*.
- Clipchamp (2018), ‘Comprime vídeos para ahorrar espacio de almacenaje, para compartir más fácilmente o para conseguir subidas más rápidas’. Fecha de última consulta: Enero 2018.
URL: <https://clipchamp.com/es/video-compressor>
- Court-Brown, C. M., Garg, A. & McQueen, M. M. (2001), ‘The epidemiology of proximal humeral fractures’, *Acta Orthop Scand* **72**(4), 365–371.
- Developers (2018a), ‘Android Studio’. Fecha de última consulta: Diciembre 2017.
URL: <https://developer.android.com/studio/>

- Developers (2018b), ‘Conoce Android Studio’. Fecha de última consulta: Diciembre 2017.
URL: <https://developer.android.com/studio/intro/?hl=es-419>
- Developers, G. (2018c), ‘CountDownTimer’. Fecha de última consulta: Marzo 2018.
URL: <https://developer.android.com/reference/android/os/CountDownTimer>
- Digital55 (2017), ‘iOS vs Android, tendencias y cuota de mercado’. Fecha de última consulta: Diciembre 2017.
URL: <https://www.digital55.com/ios-vs-android-tendencias-y-cuota-de-mercado/>
- efisioterapia (2007), ‘Fracturas proximales de húmero’. Fecha de última consulta: Enero 2018.
URL: <https://www.efisioterapia.net/articulos/fracturas-proximales-humero>
- Gómez, M. (2016), ‘TOP 5 de plataformas de desarrollo iOS y Android’. Fecha de última consulta: Diciembre 2017.
URL: <https://www.cice.es/noticia/top-5-plataformas-desarrollo-ios-android/>
- González, A. (2014), ‘¿Qué es Machine Learning?’. Fecha de última consulta: Junio 2018.
URL: <http://cleverdata.io/que-es-machine-learning-big-data/>
- Gurendo, D. (2015), ‘Software Development Life Cycle (SDLC). Spiral Model’. Fecha de última consulta: Febrero 2018.
URL: <https://xbsoftware.com/blog/software-development-life-cycle-spiral-model/>
- Hernández, H. J. A. (2017a), ‘Ejercicios de movilización para lesiones y fracturas’. Fecha de última consulta: Enero 2018.
URL: <https://www.youtube.com/channel/UCFQ1fnWlK9W1wIFhkTbLZPg>
- Hernández, H. J. A. (2017b), *Preguntas con respuesta múltiple para la comprensión de los ejercicios*, 1 edn, Hospital Clínico de Valladolid.
- Hernández, H. J. A. (2017c), *Programa de ejercicios de auto-fisioterapia en fracturas del hombro*, 1 edn, Hospital Clínico de Valladolid.
- Hernández, H. J. A. (2017d), *Voz en off para la ejecución de los ejercicios*, 1 edn, Hospital Clínico de Valladolid.
- Hygorys (2010), ‘El modelo en espiral WinWin’. Fecha de última consulta: Marzo 2018.
URL: <http://www.hanantek.com/win-win>

- JetBrains (2018), 'IntelliJ IDEa'. Fecha de última consulta: Diciembre 2017.
URL: <https://www.jetbrains.com/idea/>
- Jummp (2011), 'Desarrollo de software. Ciclo de vida en espiral Win & Win'.
Fecha de última consulta: Marzo 2018.
URL: <https://jummp.wordpress.com/2011/03/30/desarrollo-de-software-ciclo-de-vida-en-espiral-win-win/>
- Kjaersgaard-Andersen, P. (2009), 'Osteoporotic fractures have become an increasing burden in orthopaedics', *Orthopaedics Today Europe* **12**, 3.
- LucidChart (2018), 'Programa para hacer diagramas de entidad relación online'.
Fecha de última consulta: Junio 2018.
URL: <https://www.lucidchart.com/pages/es/herramienta-ERD>
- MedlinePlus (2018), 'Tomografía computarizada'. Fecha de última consulta: Enero 2018.
URL: <https://medlineplus.gov/spanish/ctscans.html>
- Merck & Inc., C. (n.d.), 'Fracturas proximales del húmero'. Fecha de última consulta: Enero 2018.
URL: <https://www.msmanuals.com/es-es/professional/lesiones-y-envenenamientos/fracturas>
- of Orthopaedic Surgeons, A. A. (n.d.), 'Ejercicio después de cirugía del hombro (Shoulder Surgery Exercises)'. Fecha de última consulta: Enero 2018.
URL: <https://orthoinfo.aaos.org/es/recovery/ejercicio-despues-de-cirugia-del-hombro-shoulder-surgery-exercises/>
- Physiopedia (n.d.), 'Mobile Apps'. Fecha de última consulta: Enero 2018.
URL: https://www.physio-pedia.com/Mobile_Apps
- Sinicki, A. (2018), 'Best Android developer tools'. Fecha de última consulta: Febrero 2018.
URL: <https://www.androidauthority.com/best-android-developer-tools-671650/>
- Staffing, M. (n.d.), 'Physical Therapy Apps for Patients: Anatomy and Injury Insights'. Fecha de última consulta: Enero 2018.
URL: <https://masmedicalstaffing.com/blog/physical-therapy/physical-therapy-apps-for-patients/>

Anexos

Anexo I: Manual de usuario

En esta sección desarrollaremos un pequeño manual de usuario sobre la aplicación para móvil expuesta anteriormente.

Registro

Es necesario registrarse en la App para poder hacer uso de sus contenidos. Al pulsar el botón «empezar» mostrado en la figura 5.1, aparecerán una serie de preguntas que se deberán responder. Si no, aparecerá un mensaje de error. Para pasar de una pregunta a otra basta con pulsar las flechas que aparecen en la parte inferior de la pantalla.



Figura 5.1: Inicio de la aplicación.

Tras responder todas las preguntas se mostrará un resumen con los datos del paciente. Si se desean modificar, se debe pulsar la flecha situada en la parte

inferior izquierda. Si se desea continuar, habrá que pulsar el botón con forma de flecha en la parte inferior derecha. Emergerá una ventana donde se le pide al paciente confirmar si está de acuerdo con el mensaje mostrado en la figura 5.2. Al aceptar se dirige al usuario a la página de inicio mostrada en la figura .

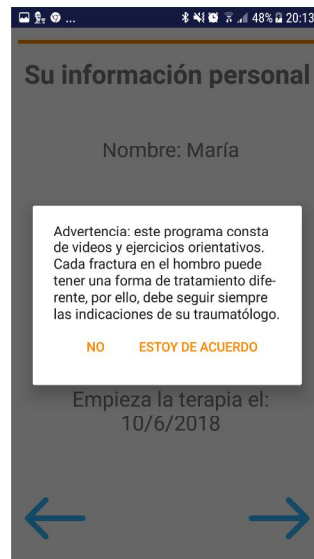


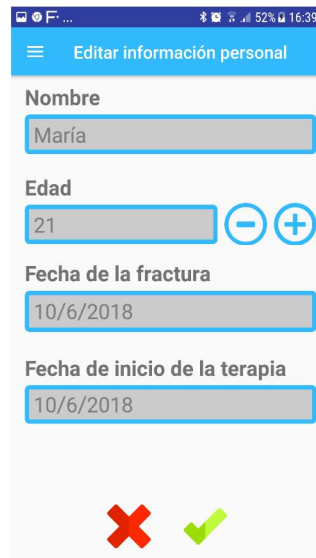
Figura 5.2: Mensaje de advertencia.



Figura 5.3: Página de inicio.

Editar perfil

Para cambiar la información de perfil del usuario, se debe ir a la pantalla «Mi cuenta». Para llegar al perfil, se puede acceder desde la página de inicio, pulsando en «Mi cuenta», o a través del navegador mostrado en la figura 5.5. Para editar los datos se debe pulsar el botón mostrado en la parte inferior de la pantalla etiquetado con «Editar». A continuación se mostrará la pantalla visualizada en la figura 5.4. Al pulsar en los recuadros con contorno en color azul, se despliega el teclado para escribir la nueva información. Al pulsar el botón con un «tick» verde, los datos se guardarán y se informará. Por el contrario, si se pulsa la cruz roja, no se guardará ningún cambio.



The screenshot shows a mobile application interface titled "Editar información personal". The interface includes the following fields and controls:

- Nombre:** A text input field containing "María".
- Edad:** A numeric input field containing "21", with minus and plus buttons for adjustment.
- Fecha de la fractura:** A date input field containing "10/6/2018".
- Fecha de inicio de la terapia:** A date input field containing "10/6/2018".

At the bottom of the form, there are two icons: a red "X" for cancellation and a green checkmark for confirmation.

Figura 5.4: Editar información de perfil.

Realizar el ejercicio

Para practicar un ejercicio, primeramente se debe ir al menú donde se muestra la lista de ejercicios. Para llegar a dicha lista, se puede acceder desde la página de inicio, pulsando en «lista de ejercicios», o a través del navegador mostrado en la figura 5.5. Si se desea realizar uno que corresponde con la semana del programa, se debe ir al submenú «Esta semana» pulsando el botón inferior izquierdo que se muestra en la figura 5.6.

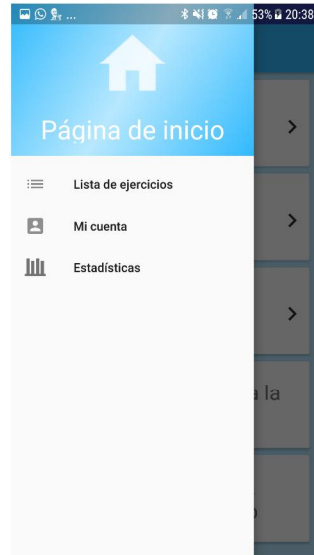


Figura 5.5: Menú de navegación.

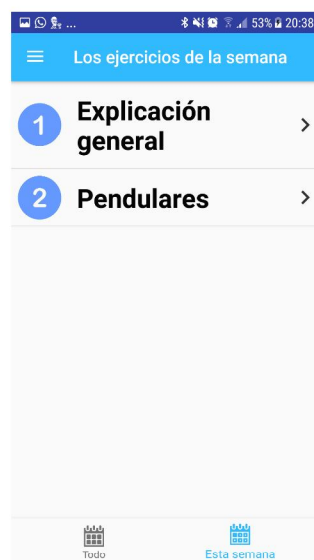


Figura 5.6: Lista de ejercicios de esta semana.

Una vez se accede a la pantalla de ejercicio, mostrada en la figura 5.7, se puede optar por ver el vídeo explicativo pulsando el botón rojo situado en la parte inferior derecha, o directamente empezar a hacer el ejercicio. Antes de

pulsar el botón naranja mostrado en la parte inferior izquierda de la pantalla, se debe seleccionar tanto el número de repeticiones como la velocidad del ejercicio. Estos números se seleccionan a través de los botones azules con signo positivo y negativo.



Figura 5.7: Pantalla de ejercicio.

Al pulsar el botón naranja mencionado anteriormente, se despliega un cuestionario con preguntas sobre cómo debe realizarse el ejercicio. Tras responderlas, se muestra la pantalla que se visualiza en la figura 5.8. Para empezar el ejercicio, ha de pulsarse el botón «Iniciar ejercicio» situado abajo de color verde. Se reproducirá una voz en off explicando brevemente como se lleva a cabo el ejercicio y a continuación una serie de mandatos que el usuario ha de obedecer al ritmo marcado por la voz. En todo momento el usuario podrá pausar el audio para después continuarlo donde lo abandonó, o directamente detenerlo. En esta pantalla se puede acceder al siguiente ejercicio, al anterior o al menú donde está la lista de actividades.

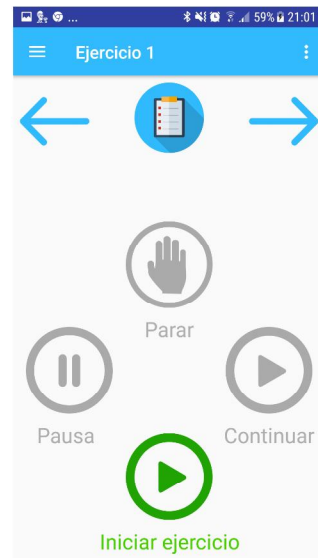


Figura 5.8: Pantalla para practicar el ejercicio.

Observar el progreso de la terapia

Para observar la evolución de la terapia se debe acceder a la pantalla de estadísticas. Para llegar a hasta ella, se puede ir desde la página de inicio, pulsando en «Estadísticas», o a través del navegador mostrado en la figura 5.5. Habrá dos submenús y se podrá cambiar con los botones situados en la parte inferior de la pantalla como se muestra en la figura 5.9. En uno de ellos se enseña en un gráfico circular de las preguntas respondidas y en el otro una gráfica de barras con el tiempo empleado en cada ejercicio.

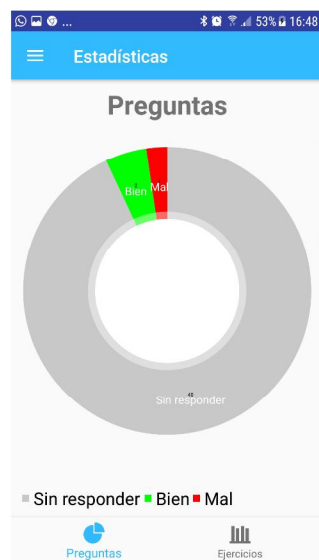


Figura 5.9: Progreso de la terapia.

Anexo II: Manual de programador

En este apartado detallaremos las partes del código consideradas de mayor relevancia. También explicaremos la estructura del programa para que si alguna persona desea continuar este Trabajo de Fin de Grado, comprender y retomar la aplicación le resulte sencillo y le ayude a ahorrar tiempo.

Entorno de desarrollo

Como se explicó en la sección 3.3.3, la herramienta empleada para desarrollar el programa ha sido Android Studio. En esta misma sección también se discutió el porqué de la elección. Esta herramienta se ha obtenido de manera gratuita de la página web oficial de desarrolladores de Google (Developers 2018a). El lenguaje de programación oficial que se emplea es Java.

Estructura

Clases

Hay un total de veintiún clases, las cuales se pueden estructurar en tres apartados diferentes: las clases que corresponden a actividades, las que corresponden a entidades de la base de datos y otras. A continuación se explica cada una de ellas:

- **Actividades.** La aplicación cuenta con nueve actividades.
 - **InfoActivity:** es la pantalla de registro. Aquí el paciente da su nombre, edad, la fecha cuando se produjo la fractura o tuvo la operación quirúrgica y la fecha cuando su médico le ha propuesto iniciar la terapia de rehabilitación. En esta actividad se realizan varias comprobaciones a la hora de guardar la información proporcionada por el paciente en la base de datos. Nos aseguramos que el paciente haya dejado el campo nombre vacío o con espacios en blanco. También se verifica que la fecha de fractura u operación no es una fecha en el

futuro, y que la fecha de inicio de terapia es posterior a la fecha de fractura u operación.

- **MainActivity**: es la pantalla de inicio. Una vez el paciente está registrado, esta siempre será su pantalla inicial. Consiste en un menú con tres botones que dirigen a la lista de ejercicios, a la información de perfil y a la pantalla de estadísticas. Además informa de los días que han pasado desde la fractura u operación y cuánto tiempo lleva el paciente con la terapia.
- **ProgramActivity**: es la pantalla de la lista de ejercicios del programa de rehabilitación. Se muestran dos listas. En la primera se enseñan todos los ejercicios y en la segunda, únicamente los que debe realizar el paciente durante esa semana. Para ambas listas, se toma la información de la base de datos.
- **ProfileActivity**: es la pantalla de información de perfil del usuario. Muestra los cuatro datos recogidos en InfoActivity y da la posibilidad de editarlos, actualizando la base de datos, si el paciente lo desea. Se realizan las mismas comprobaciones que en la actividad de registro.
- **StatisticsActivity**: es la pantalla donde se muestra el seguimiento de la terapia del paciente. Cuenta con dos secciones. La primera muestra las preguntas sin responder y las acertadas o no en un gráfico circular. La segunda sección muestra una gráfica de barras con el tiempo empleado en cada uno de los ejercicios. Si el paciente lo desea, puede observar su actividad con más detalle por cada ejercicio en particular. Ambas gráficas toman la información de la base de datos.
- **ExerciseActivity**: es la pantalla con la información básica de cada ejercicio. Se enseña en nombre del ejercicio con una breve descripción, y un botón que dirige a otra actividad donde se reproduce el vídeo explicativo. En esta actividad el usuario determina la velocidad con la que realizará el ejercicio y el número de repeticiones. Al pulsar el botón para empezar el ejercicio, se despliega la actividad QuizActivity.
- **VideoActivity**: es la pantalla dedicada al vídeo explicativo. Cuenta con las opciones de pausar, adelantar y rebobinar.
- **QuizActivity**: es la pantalla donde se realiza un cuestionario sobre el ejercicio que se realizará a continuación. Las preguntas se toman de la base de datos y la respuesta del paciente se guarda. De tal manera que si responde correctamente, la pregunta no volverá a formularse. Sin por el contrario el usuario responde de manera errónea, se le preguntará la próxima vez que inicie el ejercicio. Esto se repite hasta que el paciente acierte.
- **AudioActivity**: es la pantalla donde se realiza el ejercicio. Presenta cuatro botones: iniciar, pausar, continuar y detener. Los cuales se muestran en color o en blanco y negro en función de si están operativos o no. En esta actividad se reproduce una serie de mandatos

a través de la voz en off de la que dispone Android. La mecánica de ejecución de las órdenes del ejercicio se explicó en la sección 4.4, y en la figura 4.13 se muestra el diagrama de flujo de cómo se lleva el control de los mandatos a reproducir. Para reproducir los vídeos hemos instanciado dos objetos de la clase `CountDownTimer` (Developers 2018c). Esta clase crea un horario dividido en partes iguales, de tal manera que toma dos argumentos. El primero representa el tiempo total de la acción y el segundo indica cada cuánto tiempo se ejecuta el método deseado, en este caso un audio a reproducir.

- Base de datos. Hay varias clases que representan las entidades de la base de datos que se muestra en la figura 4.17 (`Answer`, `AudioI`, `AudioR`, `Patient`, `Patient_Activity`, `Patient.Question` y `Question`) y una clase (`ConnectionSQLiteHelper`) que realiza la conexión y gestiona la base de datos a través de diversos métodos.
- Otras clases que ayudan a lograr una mejor estructura del programa.
 - **Utilidades** almacena algunas sentencias para crear tablas en la base de datos.
 - **MyXAxisValueFormatter** modifica el eje de abscisas de las gráficas de barras de la actividad de estadísticas.
 - **CustomAdapter** y **RowItem** se emplean para diseñar la lista de ejercicios en la actividad `ProgramActivity`.

Otros ficheros

Hacemos uso de otros ficheros como las imágenes e iconos que son guardados en el directorio `app/src/main/res/drawable`. Los vídeos proporcionados por el médico se encuentran en `res/raw`.

Por último, la base de datos donde hay información acerca de la terapia de rehabilitación está en `app/src/main/assets`. Tenemos dos ficheros `.sqlite`, uno para cada idioma inglés y español, ya que la aplicación está disponible en ambos lenguajes.