



UNIVERSIDAD DE VALLADOLID

E.T.S.I. TELECOMUNICACIÓN

TRABAJO FIN DE GRADO

GRADO EN INGENIERÍA DE TECNOLOGÍAS DE
TELECOMUNICACIÓN

**Desarrollo de aplicación móvil con Unity3D para
rehabilitación física**

Autor:

D. Iván Santos Fernández

Tutor:

Dr. D. Mario Martínez Zarzuela

Valladolid, 14 de septiembre de 2021

TÍTULO **Desarrollo de aplicación móvil con Unity3D para rehabilitación física**

AUTOR: **D. Iván Santos Fernández**

TUTOR: **Dr. D. Mario Martínez Zarzuela**

DEPARTAMENTO: **Teoría de la Señal y Comunicaciones e Ingeniería Telemática**

TRIBUNAL

PRESIDENTA: **Dra. D^a. Míriam Antón Rodríguez**

SECRETARIO: **Dr. D. Mario Martínez Zarzuela**

VOCAL: **Dr. D. David González Ortega**

SUPLENTE 1: **Dr. D. Francisco Javier Díaz Pernas**

SUPLENTE 2: **Dr. D. Carlos Gómez Peña**

FECHA: **14 de septiembre de 2021**

CALIFICACIÓN:

Agradecimientos

Mi agradecimiento al Dr. D. Mario Martínez Zarzuela por su guía y ayuda en la realización de mi Trabajo Fin de Grado.

A mi familia y amigos por su colaboración en la realización de diferentes pruebas de uso sobre la aplicación móvil desarrollada en este Trabajo Fin de Grado.

Resumen

Este Trabajo Fin de Grado gira en torno al desarrollo de una aplicación móvil para dispositivos móviles generada mediante Unity3D, un motor de videojuegos multiplataforma. El objetivo es conseguir una herramienta para la rehabilitación de trastornos musculoesqueléticos mediante la realización de diferentes ejercicios físicos controlados, siendo algunos de estos ejercicios predefinidos y otros a crear por el usuario final de la aplicación.

Se introduce en qué consiste y cómo se encuentra la rehabilitación de este tipo de trastornos en la actualidad, y la importancia del ejercicio físico como una solución de tratamiento. Se llevará a cabo una revisión de las tecnologías existentes centrada en revisar varios artículos científicos de interés, algunas de las aplicaciones comerciales móviles disponibles para realizar ejercicio físico y rehabilitación, una breve introducción al desarrollo de aplicaciones mediante la herramienta Unity3D, y un análisis de los sensores en dispositivos móviles, centrado en acelerómetros y giróscopos. Se presenta la herramienta, llamada la 'La app de la recuperación', y sus diferentes ejercicios disponibles, y, por último, un estudio sobre las pruebas realizadas sobre la aplicación ya en funcionamiento y una comparativa de las diferencias con otras aplicaciones ya existentes.

Palabras clave

Aplicación móvil, Sanidad móvil, Rehabilitación, Trastornos musculoesqueléticos, Ejercicio físico, Unity3D, Giroscopio, Android

Abstract

This Degree Final Project revolves around the development of a mobile application for mobile devices generated by Unity3D, a multiplatform video game engine. The objective is to get a tool for the rehabilitation of musculoskeletal disorders through performing different controlled physical exercises, some of these exercises being predefined and others to be created by the application's end user.

Introduces what it consists and how is the rehabilitation of this type of disorders today, and the importance of physical exercise as a treatment solution. A review of existing technologies will be carried out centered on reviewing several scientific articles of interest, some of the commercial mobile applications available for physical exercise and rehabilitation, a brief introduction to application development using the Unity3D tool, and an analysis of the mobile devices sensors, centered on accelerometers and gyroscopes. The tool is presented, called the 'The recovery app', and its different exercises available, and, finally, a study on the tests carried out on the application already in operation and a comparison of the differences with other already existing applications.

Keywords

Mobile app, mHealth, Rehabilitation, Musculoskeletal disorders, Physical exercise, Unity3D, Gyroscope, Android

Índice general

1. Introducción	16
1.1. Motivación y objetivos	16
1.2. Fases y métodos	18
1.3. Recursos disponibles	19
1.3.1. Hardware	19
1.3.2. Software	20
1.3.3. Accesorios	22
2. Rehabilitación de trastornos musculoesqueléticos con ejercicio físico	23
2.1. Trastornos musculoesqueléticos	23
2.2. Rehabilitación	25
3. Revisión de tecnologías	27
3.1. Estudios científicos	27
3.2. Aplicaciones comerciales móviles para realizar ejercicio físico y rehabilitación	31
3.3. Una breve introducción a Unity3D	41
3.4. Acelerómetros/giróscopos en dispositivos móviles	45
4. Materiales y métodos	47
4.1. Especificación de requisitos y descripción de funcionalidades	47
4.2. Elementos comunes en cada escena	49
4.3. Implementación del menú principal	50
4.4. Implementación de ejercicios predefinidos	51
4.5. Implementación de ejercicios personalizados	56
4.5.1. Diseño de la base de datos	63
5. Pruebas y resultados	67
5.1. Diseño de test de usabilidad	67
5.2. Pruebas con diferentes sujetos, resultados y discusión	68
5.3. Diferencias con otras aplicaciones ya existentes y discusión	72

6. Conclusiones y líneas futuras	76
6.1. Conclusiones	76
6.2. Líneas futuras	77
Referencias	79
ANEXO A. Manual de usuario de la aplicación	85
ANEXO B. Formulario de usabilidad	94

Índice de figuras

1. Introducción	16
Figura 1. Hábitos de consumo móvil en España.	16
Figura 2. Acceso a internet por dispositivo en el mundo.	16
Figura 3. Porcentaje de uso de las diferentes aplicaciones.	17
Figura 4. Logotipo de Unity.	20
Figura 5. Logotipo de C#.	20
Figura 6. Logotipo de Microsoft Visual Studio Community 2017.	21
Figura 7. Logotipo de unity Remote 5.	21
Figura 8. Logotipo de DB Browser for SQLite.	21
Figura 9. Tipo de brazalete necesario.	22
2. Rehabilitación de trastornos musculoesqueléticos con ejercicio físico	23
Figura 10. Trastornos musculoesqueléticos más comunes.	24
Figura 11. Trastornos musculoesqueléticos por sector de actividad.	24
3. Revisión de tecnologías	27
Figura 12. Escenas de la aplicación Google Fit.	32
Figura 13. Menú de la aplicación ReHand.	33
Figura 14. Ejercicio de la aplicación ReHand.	33
Figura 15. Escena de la aplicación Podómetro gratis.	34
Figura 16. Escenas de la aplicación Ejercicios de dolor de espalda.	35
Figura 17. Escena de la aplicación Ejercicios para los ojos.	36
Figura 18. Escenas de la aplicación Sportractive.	37
Figura 19. Escenas de la aplicación LCA.	38
Figura 20. Escenas de la aplicación Fisioterapia a tu alcance.	39
Figura 21. Escenas de la aplicación adidas Training.	40
Figura 22. Editor de Unity.	41
Figura 23. Preferencias de Unity.	44
Figura 24. Parámetros de exportación de Unity.	44
Figura 25. Sensores de un teléfono inteligente.	45
Figura 26. Sistema de coordenadas de tres ejes.	46
4. Materiales y métodos	47
Figura 27. Accesos a Facebook.	47
Figura 28. Objeto 'Persona' en la escena.	53
Figura 29. Ventanas de jerarquía e inspector en el 'Ejercicio 1'.	53
Figura 30. Script para ejercicios de cabeza y pecho.	54
Figura 31. Correo informativo recibido de la aplicación.	56
Figura 32. Método para detectar ángulos en el modo 'Realizar ejercicio'.	58
Figura 33. Método para detectar ángulos en el modo 'Escoger ángulos'.	59
Figura 34. Método complementario 1 para la conversión de ángulos.	61
Figura 35. Método complementario 2 para la conversión de ángulos.	61
Figura 36. Método complementario 3 para la conversión de ángulos.	62
Figura 37. Generar la base de datos de la aplicación.	63
Figura 38. Editar la tabla de la base de datos de la aplicación.	63
Figura 39. Contenido de la tabla de la base de datos de la aplicación.	64
Figura 40. Código para modificar la base de datos.	65
Figura 41. Código para leer la base de datos.	65

5. Pruebas y resultados	67
Figura 42. Gráfico sobre el rango de edad de los sujetos.	69
Figura 43. Uso de aplicaciones de salud (gráfico izquierdo) y uso de aplicaciones de rehabilitación (gráfico derecho).	69
Figura 44. Gráfico sobre la aplicación y su interfaz de usuario.	69
Figura 45. Gráfico sobre la creación de ejercicios.	70
Figura 46. Gráfico sobre la realización de ejercicios predefinidos.	70
Figura 47. Gráfico sobre la realización de ejercicios personalizados/creados.	71
Figura 48. Utilidad de la aplicación (gráfico izquierdo) y posibilidad de recomendar la aplicación (gráfico derecho).	71
Figura 49. Gráfico con la puntuación obtenida por la aplicación.	71
ANEXO A. Manual de usuario de la aplicación	85
Figura 50. Logotipo de la aplicación móvil.	85
Figura 51. Logotipos de Google Play (izquierda) y formato APK (derecha).	87
Figura 52. Menú principal de la aplicación.	87
Figura 53. Visualización de la opción datos de la aplicación activada.	88
Figura 54. Escena ‘Cree su ejercicio’ de la aplicación.	88
Figura 55. Escena ‘Dos modos de creación’ de la aplicación.	89
Figura 56. Escena informativa 1 de la aplicación.	89
Figura 57. Escena informativa 2 de la aplicación.	90
Figura 58. Escena ‘¿Qué ejercicio quiere hacer?’ de la aplicación.	91
Figura 59. Escena ‘Ejercicios creados disponibles’ de la aplicación.	91
Figura 60. Escena previa a realizar un ejercicio.	92
Figura 61. Colocación correcta del dispositivo móvil.	93
Figura 62. Mensaje de error en la aplicación por su mala colocación.	93

Índice de tablas

2. Rehabilitación de trastornos musculoesqueléticos con ejercicio físico	23
Tabla 1. Resumen de las cuatro fases del tratamiento.	26
5. Pruebas y resultados	69
Tabla 2. Comparativa de aplicaciones.	73

1 Introducción

En este primer capítulo se introduce, valga la redundancia, la motivación y objetivos que subyacen a la realización de este Trabajo de Fin de Grado.

Se abordan las fases y métodos seguidos en su realización así como los recursos disponibles para llevarlo a cabo.

Decir que este Trabajo de Fin de Grado se ha desarrollado dentro del Grupo de Telemática e Imagen (GTI) de la Universidad de Valladolid.

1.1 Motivación y objetivos

El teléfono móvil inteligente es, a día de hoy, un elemento casi indispensable en nuestro día a día. Como puede verse en la Figura 1, ya no solo lo usamos para hacer llamadas telefónicas, sino que nos servimos de él para ver películas, comprar entradas de cine, reservar viajes, jugar, hacer videollamadas, realizar transferencias bancarias, buscar información o imágenes, ver códigos QR, etc. (Ditrendia, 2020). En definitiva, se ha convertido en una herramienta que nos permite solucionar o manejar la mayoría de los problemas que nos pueden surgir en cualquier momento dado.



Figura 1. Hábitos de consumo móvil en España (Ditrendia, 2020).

Como recoge el informe Ditrendia (Ditrendia, 2020), en el año 2020 un 90% de los habitantes del planeta tiene un smartphone y un 95% de estos lo usa cada día, haciendo que más del 50% del acceso a internet sea a través de estos dispositivos, como puede verse en la Figura 2. El informe da la cifra de 3 horas y 22 minutos de uso diario con nuestros teléfonos móviles, dejando a las claras su importancia en la vida diaria actual (Ditrendia, 2020).

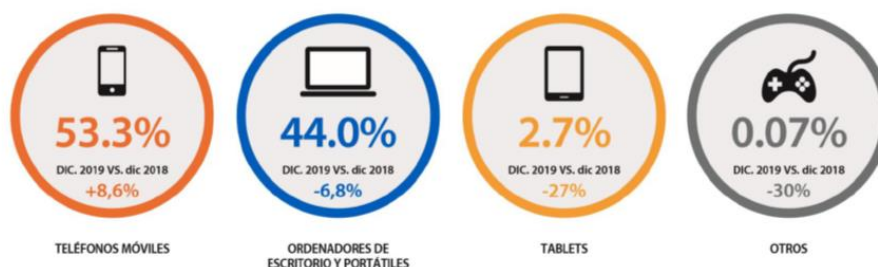


Figura 2. Acceso a internet por dispositivo en el mundo (Ditrendia, 2020).

Uno de los principales usos que damos a nuestros dispositivos móviles es la descarga y utilización de Apps, con cerca del 91% del tiempo total dedicado frente a la navegación por internet (Ditrendia, 2020). Aplicaciones móviles de chat como WhatsApp, redes sociales como Facebook, juegos como Candy Crush, de compras como Amazon, de música como Spotify, de almacenamiento en la nube como Dropbox, de banca online

como Openbank, etc. (ver Figura 3); un amplio catálogo de aplicaciones que abarcan casi todas nuestras necesidades. Es en estas últimas, aplicaciones de salud, en las que nos vamos a centrar.

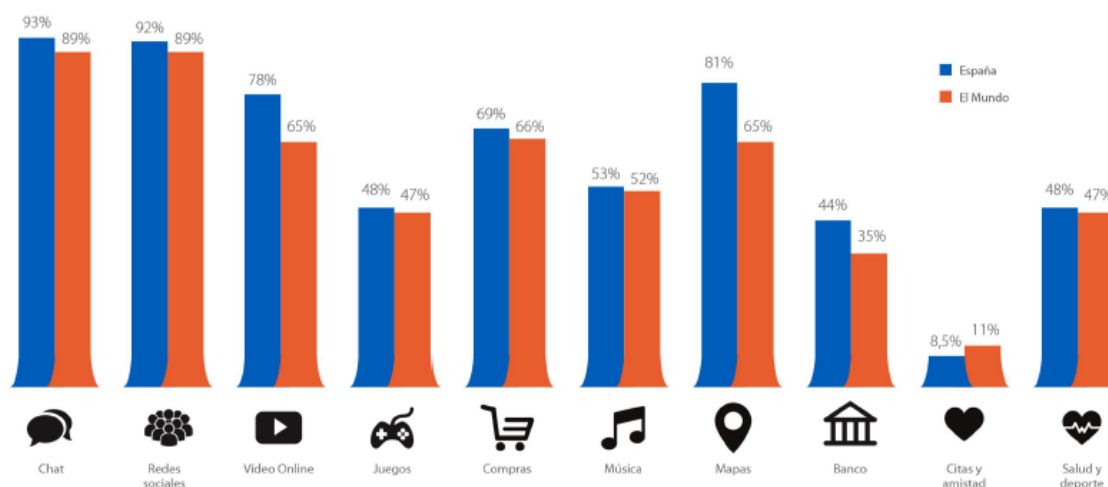


Figura 3. Porcentaje de uso de las diferentes aplicaciones (Ditrendia, 2020).

Hemos hablado de la rápida expansión de los llamados teléfonos inteligentes y del número creciente de aplicaciones móviles disponibles en el mercado, y en el campo de la salud el recorrido ha sido el mismo. La sanidad móvil es un campo ascendente que está en constante desarrollo, y que está contribuyendo en el cambio de la asistencia sanitaria y está elevando su excelencia y su capacidad, logrando tener un papel más que relevante en la mejora de la calidad de vida de las personas (Comisión Europea, 2014). La mHealth, que es como es conocida esta sanidad móvil, se define según la Organización Mundial de la Salud como “práctica médica y de salud pública respaldada por dispositivos móviles, como teléfonos móviles, dispositivos de monitoreo, asistentes digitales personales (PDAs) y otros dispositivos inalámbricos”. Su uso es mayor en países con ingresos más altos y presenta suspicacias en torno al uso de la información personal recogida por los diferentes dispositivos o aplicaciones móviles de salud disponibles (Organización Mundial de la Salud [OMS], 2011). Respecto a la seguridad dos principios básicos: seguridad durante su actividad para preservar y proteger la salud de los pacientes y mantenimiento de la privacidad de todos y cada uno de los datos recogidos. No todos estos dispositivos o apps son de una calidad relevante, de manera que su crecimiento constante debe ser regulado por mecanismos que aseguren esta seguridad (Alonso-Arévalo y Mirón-Canelo, 2018).

Una gran variedad de estudios han reflejado el más que notable uso de la mHealth como un medio para lograr un mejor tratamiento de afecciones crónicas por medio de la monitorización y la retroalimentación, actuaciones en educación y en la forma que tenemos de llevar el día a día, descubrimiento de posibles riesgos, ayuda en la elección de soluciones sanitarias y en rehabilitación, etc. (Fan y Zhao, 2021). Y es en este último uso, la rehabilitación, en donde vamos a pivotar nuestro trabajo para conseguir una aplicación móvil que permita la rehabilitación de trastornos musculoesqueléticos con la realización de ejercicio físico controlado.

Para conseguir esto vamos a recurrir a uno de los elementos básicos de los smartphones: el giroscopio. El giroscopio es un sensor para determinar la velocidad de rotación de un dispositivo móvil (Android Developers, s.f.). Las lecturas de este sensor van a ser vitales para el correcto funcionamiento de nuestra aplicación móvil.

Por tanto, los objetivos a conseguir los podemos resumir en tres:

- Una herramienta para la rehabilitación de trastornos musculoesqueléticos mediante la realización de diferentes ejercicios físicos, estando algunos de estos ejercicios predefinidos y otros a crear por el usuario final de la aplicación.
- Una revisión de las tecnologías existentes, una introducción al desarrollo de aplicaciones mediante la herramienta Unity3D y la presentación de la herramienta y sus diferentes ejercicios disponibles.
- Un estudio de las pruebas realizadas sobre la aplicación ya en funcionamiento.

1.2 Fases y métodos

Vamos a comentar brevemente las principales fases de desarrollo seguidas en el Trabajo Fin de Grado:

- **Inicio en Unity3D:** Se hace un primer acercamiento a Unity3D, herramienta para la creación de nuestra aplicación móvil. Se completan una serie de videotutoriales de YouTube (Juande, 2005).
- **Rehabilitación:** Se hace un estudio de los trastornos musculoesqueléticos y de algunos métodos de rehabilitación con ejercicio físico disponibles.
- **Artículos científicos:** Búsqueda de artículos científicos en los que se estudie el uso de los sensores de los teléfonos móviles en el campo de la salud.
- **Aplicaciones disponibles:** Búsqueda de aplicaciones comerciales móviles para realizar ejercicio físico y rehabilitación.
- **‘Lluvia de ideas’:** Se perfilan las posibles funcionalidades de la aplicación, los sistemas operativos que soportará y se hacen las primeras pruebas con el giroscopio del teléfono móvil.
- **Fase inicial:** Se crean las primeras escenas y con ellas se establece el esquema general a seguir en la aplicación.
- **Primera versión:** Se completa la primera versión de la aplicación y se hacen pruebas para comprobar su operatividad.
- **Revisión:** Se hace un repaso de la aplicación y se toma la decisión de añadir algunas funcionalidades más. Se corrigen algunos fallos.
- **Versión final:** Se completa la que es última versión de la aplicación.
- **Nuestra aplicación:** Explicación, con detalle, de la aplicación móvil creada.
- **Pruebas:** Desarrollo de una serie de pruebas con diferentes sujetos y posterior explicación de los resultados obtenidos.

1.3 Recursos disponibles

Vamos a presentar los recursos utilizados en el desarrollo del este TFG: dos dispositivos en hardware, cinco elementos en software y un posible accesorio para realizar los diferentes ejercicios de la aplicación móvil.

1.3.1 Hardware

Ordenador portátil personal

- Modelo: Packard Bell Easynote TM
- Procesador: Intel(R) Core™ i3 CPU 2.27 GHz
- RAM instalada: 4,00 GB
- Tipo de sistema: Sistema operativo de 64 bits, procesador basado en x64
- Almacenamiento: 500GB
- Pantalla: 15.6" 16:9 HD LED LCD
- Sistema operativo: Windows 10 Home
- Versión: 21H1

Teléfono móvil personal

- Modelo: Huawei Ascend G630-U20
- Procesador: CPU Qualcomm Snapdragon 200 de 1 núcleo
- RAM instalada: 1,00 GB
- Velocidad del procesador: 1.2 GHz
- Almacenamiento: 4GB
- Pantalla: 720 x 1280
- Sistema operativo: Android
- Versión: 4.3

1.3.2 Software

Unity3D

Desarrollado por Unity.

Versión utilizada: 2017.3.

Disponible para Windows, Mac y Linux.

Motor para la creación de juegos, aplicaciones y escenas 2D, 3D y VR. Ofrece las herramientas para crear asombrosos juegos y poder difundirlos en una gran variedad de dispositivos (Unity, 2021).



Figura 4. Logotipo de Unity.

C#

Desarrollado por Microsoft.

Es el lenguaje de programación utilizado en este Trabajo Fin de Grado.

C#, o C Sharp, es “un lenguaje de programación orientado a objetos y a componentes”. Se puede usar para implementar una gran variedad de proyectos seguros y robustos que se lanzan en Microsoft .NET. Tiene su origen en el lenguaje C y es fácil de utilizar para todos aquellos que estén habituados a usar C, C++, Java o JavaScript. La última versión estable es la 9.0, publicada con .NET 5 (Microsoft, 2021).



Figura 5. Logotipo de C#.

Microsoft Visual Studio Community 2017

Desarrollado por Microsoft.

Versión utilizada: 15.9.36.

Es un entorno de desarrollo integrado (IDE) que permite escribir, depurar y compilar nuestro script, germen de nuestro futuro proyecto (Anand, 2021). Viene incorporado en Unity, con su herramienta Visual Studio Tools, con la función de crear los diferentes scripts que van a formar parte del proyecto de Unity usando C#. Está totalmente integrado con el editor de Unity (Miller, 2019).



Figura 6. Logotipo de Microsoft Visual Studio Community 2017.

Unity Remote 5

Desarrollado por Unity.

Disponible para Android, iOS y TVOS.

Versión actual: 3.0.

Aplicación muy útil al trabajar con Unity. Al ejecutar (dar al PLAY) nuestro proyecto, en el Editor se conecta la aplicación a Unity. A partir de ese momento, todo lo que veamos en el Editor se verá también en la pantalla de nuestro dispositivo y todas las acciones que tomemos en el dispositivo volverán al proyecto que tenemos ejecutándose en Unity. Nos permite ir viendo cómo va nuestro proyecto sin tener que compilarlo cada vez que queramos ver su funcionamiento, lo cual ahorra tiempo (Unity, 2018e).



Figura 7. Logotipo de unity Remote 5.

DB Browser for SQLite

Versión utilizada: 3.10.1.

Disponible para Windows, macOS, Linux, etc.

Como se indica en su documentación (DB Browser for SQLite, s.f.), se trata de “una herramienta de código abierto, visual y de alta calidad para crear, diseñar y editar archivos de bases de datos compatibles con SQLite”.



Figura 8. Logotipo de DB Browser for SQLite.

1.3.3 Accesorios

Brazaletes

Típico brazaletes que se utiliza para hacer deporte. Lo usaremos para crear y hacer los ejercicios de brazos y piernas (ver Figura 9).



Figura 9. Tipo de brazaletes necesario.

Para los ejercicios de cabeza y pecho haría falta una cinta o ‘algo semejante’, cualquier cosa que encontremos que sujete el móvil y no lo mueva de su posición correcta. Para este tipo de ejercicios podría ser suficiente con sujetar el móvil a la altura del pecho o de la cabeza con los dedos, aunque resultarían algo más incómodos de completar al tener las manos ocupadas durante la realización de los mismos.

2 Rehabilitación de trastornos musculoesqueléticos con ejercicio físico

En este segundo capítulo se hace un análisis de en qué consisten los llamados trastornos musculoesqueléticos. Se comentan cuáles son los más comunes y las causas que los producen.

También se aborda en qué consiste la rehabilitación de estos trastornos hoy en día.

2.1 Trastornos musculoesqueléticos

Los trastornos musculoesqueléticos (TME) engloban unos 150 trastornos relacionados con el aparato musculoesquelético, también llamado aparato locomotor. Estos trastornos van desde los súbitos y de breve plazo hasta las afecciones permanentes y severas (OMS, 2021). Tienen su germen en un envejecimiento cada vez mayor de las personas y en una alteración constante de la manera en la que vivimos, con lo cual es muy probable que sigan creciendo en el futuro (Ministerio de Sanidad, Servicios Sociales e Igualdad, 2013).

Como recoge la OMS (2021), “suelen ocurrir con dolor (a menudo persistente) y limitación de la movilidad, la destreza y el nivel general de funcionamiento, lo que reduce la capacidad de las personas para trabajar”. También se indica que estos trastornos pueden afectar a (OMS, 2021):

- “articulaciones (artrosis, artritis reumatoide, artritis psoriásica, gota, espondilitis anquilosante)”
- “huesos (osteoporosis, osteopenia y fracturas debidas a la fragilidad ósea, fracturas traumáticas)”
- “músculos (sarcopenia)”
- “la columna vertebral (dolor de espalda y de cuello)”
- “varios sistemas o regiones del cuerpo (dolor regional o generalizado y enfermedades inflamatorias, entre ellas los trastornos del tejido conectivo o la vasculitis, que tienen manifestaciones musculoesqueléticas, como el lupus eritematoso sistémico)”

Entre otros ámbitos, en el del trabajo tiene una enorme influencia, hasta el punto de ser considerado como “el problema de salud más común en España y en Europa” (Instituto Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo [INSST], s.f.). En el trabajo se producen estos trastornos en espalda, cuello, hombros y en las extremidades, con casos que van desde los más leves a otros más delicados que precisan de atención sanitaria (Agencia Europea para la Seguridad y la Salud en el Trabajo [EU-OSHA], s.f.).

Podemos encontrar diversos factores de riesgo que causan estos TME en el trabajo: físicos y biomecánicos, como el manejar distintas cargas, trabajar a un ritmo elevado, etc.; organizativos, como las largas jornadas de trabajo, las escasas pausas diarias, trabajar demasiado rápido, etc.; psicosociales, como el hostigamiento o cualquier otro tipo de marginación durante el trabajo; o individuales, como el historial médico, edad, costumbres diarias, etc. (INSST, s.f.; EU-OSHA, s.f.).

Como ejemplo de la más que relevante existencia de este tipo de trastornos, vamos a tomar la VII Encuesta Nacional de Condiciones de Trabajo en España publicada por el

INSST en el año 2011. Se comenta que hasta un 77.5% de trabajadores encuestados afirma padecer algún tipo de trastorno musculoesquelético, siendo los más comunes y destacados la zona baja de la espalda con casi el 45%, la nuca/cuello con más del 34% y la zona alta de la espalda con algo más del 27%, como puede verse en la Figura 10 (INSST, 2011).

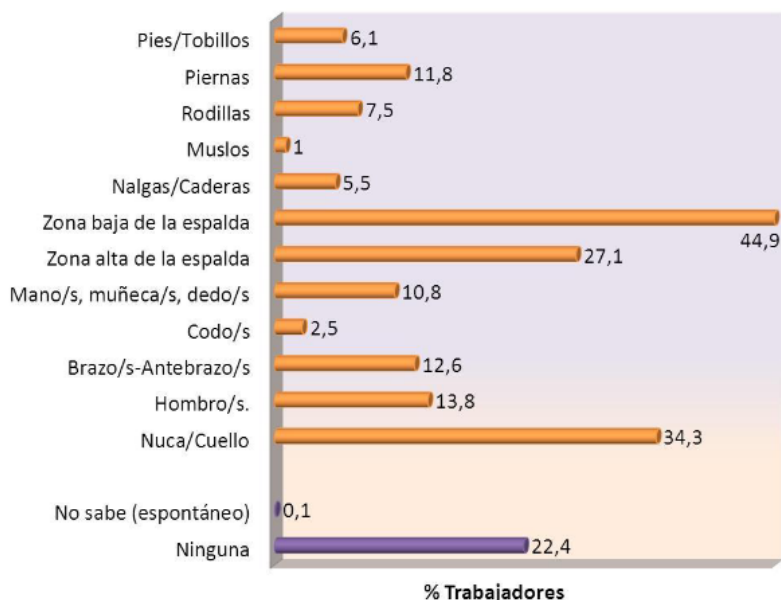


Figura 10. Trastornos musculoesqueléticos más comunes (INSST, 2011).

El mismo análisis por sector de actividad, ver Figura 11, refleja como dependiendo del trabajo a realizar se van a ver más o menos afectadas unas partes del cuerpo u otras. Podemos destacar como en los sectores agrario y de la construcción la zona baja de la espalda tiene una mayor afectación que en industria y servicios, mientras que en el sector servicios tanto la nuca/cuello como la zona alta de la espalda sufren más molestias que en los otros tres sectores (INSST, 2011).

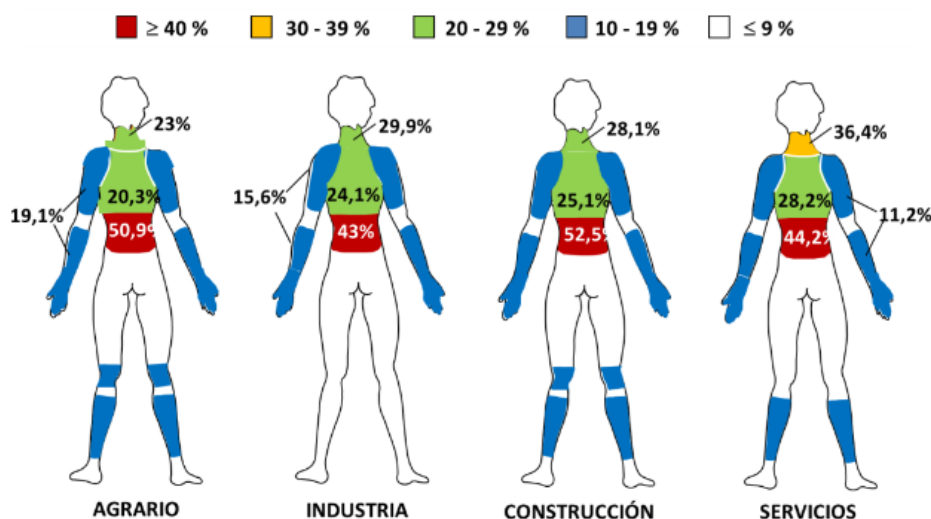


Figura 11. Trastornos musculoesqueléticos por sector de actividad (INSST, 2011).

En resumen, se estima que unos 1,71 billones de personas a lo largo del planeta padecen algún tipo de trastorno musculoesquelético (Cieza et al., 2020). Por tanto, una correcta estimación de los riesgos existentes y un proyecto preventivo de acción son vitales para mitigar, en la mayor medida de lo posible, estos trastornos cada vez más extendidos (EU-OSHA, s.f.).

2.2 Rehabilitación

La Organización Mundial de la Salud define la rehabilitación como “un conjunto de intervenciones encaminadas a optimizar el funcionamiento y reducir la discapacidad en personas con afecciones de salud en la interacción con su entorno”. Su fin último es aumentar al máximo la autonomía de las personas y que puedan llevar una vida lo más normal posible (OMS, 2020a).

A destacar dos iniciativas de la OMS para impulsar el uso de la rehabilitación y llevarlo a las personas de todos los países del mundo:

- *Rehabilitación 2030*: iniciativa lanzada en 2017 que busca reflejar la necesidad de reforzar y consolidar los sistemas sanitarios de los países con el objetivo de suministrar asistencia en rehabilitación a sus ciudadanos. Fue adoptada por la carencia de medidas en muchos países, sobre todo en aquellos con menos recursos (OMS, 2021).
- *Rehabilitación en los sistemas de salud, guía de acción*: iniciativa lanzada en 2020, siguiendo la estela de la anterior, que ofrece una serie de buenas prácticas a aplicar en los sistemas sanitarios de los países, sobre todo en el área de la rehabilitación (OMS, 2020b).

La rehabilitación puede consistir en diversos métodos y técnicas, pero nos vamos a centrar en aquellas que implican la realización de algún tipo de ejercicio físico. El ejercicio terapéutico es el eje central en la rehabilitación de trastornos musculoesqueléticos y es utilizado habitualmente por sus resultados favorables. Este tratamiento tiene el fin de “restaurar la función normal al alterar la información sensorial, reducir la inflamación, disminuir, coordinar y fortalecer la actividad muscular y promover la reparación y regeneración de los tejidos” (Armijo-Olivo, 2018).

Hay diversos artículos científicos y estudios que recogen todo tipo de ejercicios o métodos para la rehabilitación de cualquier parte del cuerpo. Vamos a escoger un par de ellos como ejemplo de uso del ejercicio físico en este tipo de trastornos:

❖ **Rehabilitación del hombro doloroso en el atleta joven (De la Rosa-Morillo, Galloza-Otero y Micheo, 2019)**

Problema: Deportista joven que manifiesta dolor en hombro. Se indica que es la tercera causa más común de lesión entre atletas. Común en deportes: lanzamiento, uso de raqueta y natación, entre otros. Hay factores de riesgo que pueden propiciar el trastorno: edad, poca fortaleza, género, deportistas precoces, etc. Se dan una serie de datos médicos sobre el hombro que ayudan a un buen diagnóstico posterior del problema. Se hace una detallada evaluación de la lesión y se establece un modelo estándar de actuación, que incluye radiografías, resonancias magnéticas, sonografías, etc.

Tratamiento: Debe empezar poco después de ocurrir la lesión. Se busca un enfoque que no requiera pasar por quirófano, directamente la rehabilitación. Se dan una serie de objetivos a cumplir como la reducción del dolor, que el hombro se mueva como antes de la lesión, etc. Es presentado el marco de tratamiento de forma detallada y su segmentación en cuatro fases: “aguda, recuperación, funcional y de mantenimiento”; cada una de las cuales con sus procesos y ejercicios que se deben ir completando. En la Tabla 1, obtenida del artículo, se presenta un resumen de estas 4 fases.

Resultados: Una vez superada la última fase, el paciente debe ser capaz de volver a practicar su deporte sin mayor problema y con la ausencia de dolor. Adicionalmente, recibe una serie de indicaciones de entrenamiento personal con ejercicios adaptados al deporte practicado para evitar futuras recaídas.

❖ **Paciente con síndrome femorrotuliano (Geffen, 2003)**

Problema: Mujer de 29 años que manifiesta tener una dolencia en la parte anterior de la rodilla derecha. Se indica que compite en baloncesto y que después de los partidos el dolor va en aumento. No presenta ningún otro problema y no había tenido esta lesión previamente. Después de hacer una serie de exploraciones, incluida una radiografía y una resonancia magnética, se llega al diagnóstico de la paciente: síndrome femorrotuliano.

Tratamiento: Se plantea un tratamiento de rehabilitación a 28 días centrado en el reforzamiento del glúteo y cuádriceps derechos, apoyados en una cinta que permita que la rótula se alinee, y se remarca la necesidad de un calzado correcto. El programa de tratamiento es muy detallado, compaginando diferentes ejercicios de fortalecimiento, flexibilidad y resistencia, con periodos de descanso y hielo, encintado de la rótula para alinearla, recursos de psicología y fármacos, y progresivo retorno a la actividad diaria.

Resultados: Se comenta que tras una serie de revisiones médicas el paciente recupera su estado físico previo. A mayores, como en el caso anterior, recibe una serie de indicaciones de entrenamiento personal para evitar futuras recaídas.

Aguda	Recuperación	Funcional	Mantenimiento
Tratar síntomas	Restaurar flexibilidad	Aumentar fuerza y resistencia	Cumplir exitosamente las fases anteriores Regresar a la participación completa en el deporte sin padecer síntomas
Proteger el lugar de la lesión	Corregir factores biomecánicos: Cadena cinética (tronco/cadera) Disquinesia escapular Arco de movimiento del hombro Debilidad del manguito rotador	Refinar control neuromuscular Iniciar actividad específica del deporte Iniciar programas de intervalo	Continuar un programa de ejercicios preventivos a través de toda la temporada

Tabla 1. Resumen de las cuatro fases del tratamiento (De la Rosa-Morillo et al., 2019).

Una vez visto qué son los trastornos musculoesqueléticos y en qué se puede basar su rehabilitación mediante ejercicio físico, vamos a servirnos de nuestro teléfono móvil como instrumento para lograr esta rehabilitación.

3 Revisión de tecnologías

En este tercer capítulo se hace un repaso de las tecnologías existentes en el marco de trabajo de nuestro TFG. Se empieza comentando algunos artículos científicos de interés, se hace una búsqueda y se prueban aplicaciones comerciales móviles para realizar ejercicio físico y rehabilitación, y se hace una introducción al programa Unity3D y su uso para crear aplicaciones en Android. Se finaliza con un análisis teórico de los acelerómetros y giróscopos en dispositivos móviles.

3.1 Estudios científicos

El número de estudios científicos sobre el uso de aplicaciones móviles y sus sensores es enorme. En este apartado se van a presentar y comentar unos pocos, pero que van a servir como ejemplo de la más que relevante notoriedad de este campo. Los artículos escogidos van a versar sobre rehabilitación, uso de los diferentes sensores o seguridad en las aplicaciones móviles.

En el artículo de Ashapkina et al. (2020) se busca un método para la rehabilitación de la articulación de rodilla en su última fase, es decir, aquella que el paciente hace en su casa o con la supervisión de un profesional. La vía de actuación será emplear un teléfono inteligente y se presentan tres métodos diferentes de uso: realizar los ejercicios en línea con el especialista; grabar los ejercicios y que luego el especialista actúe y tome decisiones sobre las grabaciones; o completar los ejercicios remotamente y que los datos técnicos obtenidos sean recibidos por el especialista, siendo esta última opción la escogida al ser la más efectiva en términos sanitarios. Para registrar el movimiento hay dos opciones: las cámaras de los teléfonos o el empleo de sensores IMU, aunque se decantan por los sensores propios de los teléfonos inteligentes y así evitan utilizar tecnología extra. Será necesario para completar los ejercicios el uso de brazaletes. Se define con detalle la estructura que ha de tener el método en tres bloques: la aplicación móvil que sustenta la rehabilitación, la colección de ejercicios a realizar y la funcionalidad de acceso online del especialista para un correcto control sobre los datos y la realización de los ejercicios. Mediante el uso del filtro Madgwick y el algoritmo DWT, se indica teóricamente cómo va a ser el cálculo final de la trayectoria, todo ello tomando los datos del giroscopio y del acelerómetro del dispositivo móvil en uso. Por último, se presenta la aplicación y sus principales características: aplicación centrada en la articulación de la rodilla con 23 ejercicios, tratamientos de un mes de duración con diferentes niveles de dificultad, uso de los sensores del teléfono para monitorizar la correcta realización de los ejercicios, vídeos informativos de cada ejercicio a completar, etc. La conclusión a la que llegan los autores es que el uso de este tipo de aplicaciones en el ámbito de la sanidad contribuye a que el paciente se tome la rehabilitación de una manera más activa y motivante.

En el artículo de Frederix et al. (2016) se centran en la aplicación móvil MobileHeart, que ayuda en la rehabilitación de pacientes que padecen cardiopatía isquémica. La razón de recurrir a una aplicación móvil radica en la cada vez mayor negativa de los pacientes a acudir a una clínica de rehabilitación, con motivos que van desde la ausencia de interés a una imposibilidad de fechas. La aplicación forma parte del campo de las mHealth, es accesible para Android, está adaptada a cada paciente y tiene como funcionalidades principales: “la telemonitorización, el e-learning y la comunicación bidireccional con el cuidador”. Estos tres elementos son explicados de forma detallada,

destacando que en la telemonitorización se usan datos obtenidos mediante sensores externos (como la frecuencia cardiaca) con otros introducidos ‘a mano’ (como el peso, por ejemplo). Se indica cada una de las funciones que cumple la aplicación (ejercicio, medicación, prescripción y tablero con datos como la presión arterial) así como los estudios en que se han basado para regular la monitorización que lleva a cabo la aplicación. A continuación, se presentan los resultados obtenidos con la aplicación del paciente y la plataforma de aprendizaje electrónico. Destacar de esta parte de resultados la función de ejercicio de la aplicación, en la que el especialista crea series de entrenamiento adaptados al paciente indicando datos como intensidad, tiempo a emplear, etc. Como conclusión, destacar las ventajas y los buenos resultados de este método de rehabilitación cardiaca. El comentario se extiende a gran parte de las aplicaciones móviles presentes a día de hoy en el campo de la salud, aunque se advierte de aquellas que no siguen unas normas sanitarias mínimas y regladas.

En el artículo de Garcia y Navarro (2014) se busca un método para la rehabilitación de un esguince de tobillo y para ello se recurre al desarrollo de una aplicación móvil llamada Mobile RehApp™. Al igual que se indicaba en el trabajo anterior, la razón de recurrir a una aplicación móvil es que para los pacientes la rehabilitación clásica ha dejado de ser atractiva. Antes de crear la aplicación, se llevó a cabo un primer estudio sobre las tecnologías existentes y un segundo estudio para determinar los ejercicios de rehabilitación de esguince de tobillo más adecuados para llevar a cabo con la tecnología Realidad Aumentada Móvil (MAR en sus siglas en inglés). La búsqueda se centró en aquellos ejercicios que no precisaran de elementos externos o de apoyo o ayuda externa, y los escogidos fueron: “El alfabeto”, mover el pie dañado dibujando el alfabeto; y el “Limpiaparabrisas”, mover el pie dañado sobre el suelo imitando el limpiaparabrisas del coche. La aplicación se basa en juegos y se caracteriza por usar la MAR para llevar a cabo ejercicios de rehabilitación. Mediante estos juegos la aplicación controla el rendimiento del paciente. Centrándonos en su funcionamiento, tiene 3 minijuegos basados en los dos ejercicios comentados anteriormente, y el proceso consiste en: situar un marcador AR en el pie dañado del paciente, dirigir un dispositivo móvil a elección hacia este pie y, finalmente, con la aplicación móvil instalada en este dispositivo controlar, mediante estos juegos, el movimiento del pie. Esta información del movimiento del pie es recogida por la aplicación y puesta a disposición del paciente o del fisioterapeuta. Para crear la aplicación se usa Unity3D y Vuforia, un kit de desarrollo de realidad aumentada. Se comenta la más que relevante utilidad de esta aplicación para la rehabilitación de un esguince de tobillo, aunque se precisa la necesidad de hacer más pruebas que validen su uso en el área sanitaria.

En el artículo de Bravo et al. (2011) tratan lo que definen como fragilidad de las personas mayores, debida a: la edad, pérdida progresiva de movilidad, incapacidad de realizar ciertas acciones, etc. Esta fragilidad afecta a la actividad diaria de estas personas y es aquí donde los autores proponen una solución basada en los teléfonos móviles: monitorizar con la ayuda de su acelerómetro la evolución que presenta esta fragilidad en estudio y como esta afecta a la movilidad del paciente. El fin último de la aplicación es el cálculo de lo que se denomina índice de fragilidad y para ello se sirven de cuatro parámetros (“movilidad, equilibrio, resistencia y actividad física”) obtenidos durante el desarrollo de ejercicios físicos; cuando tengamos el índice ya se puede tratar al paciente de acuerdo a los resultados que ofrece la aplicación. Mediante la realización de diferentes pruebas, como la marcha, se estudian las variaciones de los datos obtenidos con el acelerómetro y se establece que puedan visualizarse desde la aplicación. Las tres principales características de la aplicación serán: la prevención de

que los ejercicios físicos realizados por los pacientes en su residencia rondan el índice de fragilidad calculado, controlar la rehabilitación de los pacientes mediante ejercicios fijados con detalle por un sanitario en la aplicación y una obtención constante del índice. Destacar que el paciente en ningún momento va a tener que introducir o modificar nada en la aplicación, tan solo tiene que tener su teléfono móvil con él a lo largo del día, lo cual es vital ya que en este rango de edades el manejo de estos dispositivos no es muy alto.

En el artículo de Dicianno et al. (2015) se hace un estudio del estado del arte en el que se encuentran las aplicaciones de mHealth y en cómo han contribuido a mejorar los tratamientos de salud. Se fundamentan las razones que han llevado a que los teléfonos inteligentes sean tan importantes en este campo, destacando sobre todas que se trata de un dispositivo que va con nosotros siempre y que posee una serie de sensores internos, como el acelerómetro o el giroscopio, muy útiles para la obtención de una gran cantidad de datos sobre el estado físico actual del usuario. Entre las características más importantes de las aplicaciones de mHealth se encuentran: la posibilidad de contacto bidireccional entre paciente y especialista, que ofrecen un tratamiento individualista y ajustado al usuario/paciente, que pueden llegar a un gran número de personas con independencia de su edad o de su lugar de residencia, etc. Las aplicaciones están dirigidas tanto a pacientes como a especialistas del sector y su finalidad última no es la de sustituir la medicina clásica presencial, sino ser un medio secundario de ayuda y mejora en todo lo relativo a la salud. Se destaca el concepto de la gamificación, que consiste en servirse de diferentes juegos para aplicaciones móviles como un medio de lograr beneficios y avances en cualquier patología asociada a la salud de los pacientes, siendo cada vez más importante en este campo de las mHealth. En la rehabilitación, la mHealth tiene un papel esencial ya que permite al especialista, por ejemplo, obtener la presión arterial de un paciente y con ella poder actuar o tratarlo de una determinada manera. Se presenta el portal web iMHere, centrado en pacientes con espina bífida y conectado a aplicaciones móviles usadas por dichos pacientes. Se caracteriza por mandar mensajes que avisan a los pacientes de sus actividades diarias, como por ejemplo la ingesta correspondiente de fármacos. Los resultados de este portal fueron la disminución en el número de problemas sanitarios y un ahorro en el gasto. También se presenta lo que se denomina un coaching virtual, un medio que genera mensajes de ánimo a los pacientes con el objetivo de que modifiquen su conducta hacia el tratamiento. Varias iniciativas en el uso de esta tecnología, como en la Administración de Veteranos de los EEUU, con resultados como que el servicio es más sencillo de usar que con tratamientos clásicos, entre otros. Remarcar que las asociaciones médicas son muy partidarias del uso de estas aplicaciones de mHealth. Como conclusión, estas tecnologías contribuyen a mejorar el tratamiento sanitario, pero se necesitan más estudios que las avalen.

Otros artículos interesantes que versan sobre la rehabilitación móvil son el artículo de LeMoyne et al. (2015), que aborda la rehabilitación del tobillo, problema heredado en este caso de las cada vez más comunes lesiones cerebrales y uno de sus principales trastornos que genera: las disfunciones en la actividad motora del paciente. Se busca una alternativa a los tratamientos clásicos de rehabilitación del tobillo y, para ello, se recurre a los teléfonos inteligentes. Sirviéndose de este dispositivo, con una aplicación que permite su uso de soporte de giroscopio inalámbrico se coloca sobre un soporte generado con impresión 3D. La información obtenida del giroscopio del teléfono inteligente es enviada vía internet y, mediante lo que se denomina como “aprendizaje automático”, se diagnostica el estado del tobillo. Para todo este proceso se establece un

detallado protocolo a llevar a cabo durante la rehabilitación. En el artículo de Ashok y Bhattacharjya (2020) se presenta un método para la rehabilitación de la mano, trastorno que también viene, como en el artículo anterior, de una lesión cerebral. Se busca una herramienta que permita determinar cómo se mueve la mano, si lo hace con normalidad o presenta algún problema. Se desarrolla una aplicación, llamada mHandRehab, que tiene la siguiente arquitectura: la cámara de un dispositivo móvil que capturará el constante movimiento de la mano durante la realización de un conjunto de ejercicios predefinidos y un ordenador que maneje la cámara e inicie la aplicación. Los movimientos de la mano capturados por la cámara a lo largo del tiempo serán procesados usando diferentes algoritmos de “aprendizaje profundo”. Tras la fase de pruebas, se afirma que con este tipo de aplicaciones se atrae a los pacientes a la rehabilitación. Y en el artículo de Santos et al. (2015) se hace un estudio sobre las caídas de personas mayores de 65 años, buscando un sistema basado en ejercicios para tratar de evitarlas o en su defecto proceder a su rehabilitación. Como ya se ha mencionado anteriormente, se busca pasar de los tratamientos clásicos poco estimulantes a fórmulas nuevas como, por ejemplo, la gamificación ya comentada. Para ello se desarrollan juegos interactivos que disponen de los datos de múltiples sensores con el objetivo de anticipar las citadas caídas y contribuir a la rehabilitación con la realización de ejercicios. Se utiliza como motor de implementación de los juegos Unity. La aplicación es multiplataforma y adaptable a futuras características, y recoge información de un gran número de sensores como los inerciales, movimiento de dedos, etc. Destacar que no solo se trabaja con los sensores propios de los teléfonos inteligentes, sino también con otros como, por ejemplo, los sensores de profundidad. En teléfonos inteligentes se usa el Bluetooth para enviar la información de sus sensores a los juegos correspondientes, cada uno de los cuales es presentado en el artículo. Se concluye en que, en el ámbito de uso de los teléfonos inteligentes, se requiere que el barrido del movimiento sea lo más exacto posible para que su uso sea aceptable.

En cuanto al uso de los diferentes sensores disponibles en nuestros teléfonos inteligentes y dejando por un momento a un lado su uso en rehabilitación, destacamos un par de artículos de interés. En el artículo de Chandra et al. (2018) se utiliza el giroscopio para la creación de una aplicación que sirva de apoyo durante una presentación/videoconferencia. El giroscopio, uno de los sensores de movimiento de los teléfonos inteligentes, proporciona la velocidad angular. La arquitectura de la aplicación, llamada Airmote, es: cliente en Android y servidor en Windows. Se utiliza para manejar punteros, diapositivas, ratones o teclados en Windows con el movimiento de nuestros teléfonos, y lo haría tomando los datos del giroscopio y siendo enviados al servidor con su correspondiente procesado. Se comentan con detalle las particularidades del funcionamiento de la aplicación para su uso durante el transcurso de una presentación. Los resultados obtenidos en las pruebas de uso de la aplicación son casi en su totalidad positivos, tanto en su utilidad como en su variedad de funcionalidades. Y en el artículo de Majumder y Deen (2019) se hace un amplio y completo estudio del estado del arte de los sensores en el mundo de la salud. Como recogen los autores, estos sensores proporcionan una gran cantidad de datos útiles en salud, lo que hace de estos dispositivos móviles una herramienta muy válida en este campo. A lo largo del artículo, se comenta el monitoreo del corazón, la vista, la piel, la salud mental, el sueño, etc., con el uso de los diferentes sensores disponibles, y se presentan diferentes aplicaciones que respaldan su uso. Por ejemplo, para el control de la actividad física, con sensores como el giroscopio o el GPS se puede vigilar el avance de la marcha de una persona a lo largo del día. También se hace un análisis de las políticas regulatorias existentes sobre este tipo de aplicaciones de mHealth y de la necesidad de que estén respaldadas por

profesionales del sector que garanticen sus prestaciones. Y se hace una lista de cuales deberían ser los retos futuros para este tipo de aplicaciones, algunos de estos son: un mayor número de estudios médicos que midan la efectividad y el nivel de seguridad de estas aplicaciones y sus dispositivos móviles, que las aplicaciones de salud estén claramente identificadas como tales, abogar por órganos reguladores públicos, disponer de una tienda específica de aplicaciones en salud que ayude al usuario al escoger la más adecuada para sus intereses, que las aplicaciones sean multiplataforma y sencillas de manejar, mejoras en la seguridad y privacidad de estas aplicaciones, etc.

Y, por último, respecto a la seguridad en las aplicaciones móviles, en el artículo de Papageorgiou et al. (2018) se hace un estudio sobre la seguridad y la privacidad en las aplicaciones de la mHealth. La enorme variedad de información que proporcionan los muchos sensores disponibles en nuestros dispositivos móviles ha dado lugar a un gran aumento en el número de aplicaciones en el campo de las m-Health. Los autores tratan cómo estas aplicaciones mantienen la privacidad y la seguridad de todos estos datos, los cuales son información delicada de los usuarios a proteger. La investigación, con una duración de unos 20 meses, se centra en aplicaciones para Android que tengan suficiente relevancia y número de usuarios. Para evaluar las aplicaciones se crea primero una metodología de selección con la que se escogen aquellas que más se adecúan al estudio, en este caso 20 aplicaciones disponibles en Google Play, y se establece una metodología minuciosa para la valoración de los datos de cada aplicación. Tras presentar los resultados obtenidos, se llega a la conclusión de que un gran número de aplicaciones no cumplen con los requisitos mínimos de seguridad y privacidad sobre los datos de los usuarios, quedando expuestos parámetros sanitarios, historiales clínicos, claves de acceso, imágenes personales, etc. Algunos de los mayores problemas serían: el escaso cifrado de la información personal, la poca capacidad de los órganos reguladores de controlar a dónde van los datos de las diferentes aplicaciones, etc. Por tanto, con la opinión favorable de los profesionales del sector, se pide una mayor vigilancia sobre estas aplicaciones de la m-Health.

3.2 Aplicaciones comerciales móviles para realizar ejercicio físico y rehabilitación

Consultando las diferentes tiendas de aplicaciones móviles, como Google Play o la App Store de Apple, puede verse como el campo de la salud está muy bien representado. Aplicaciones para medir la presión arterial, controlar el sueño mientras dormimos, llevar una dieta sana y equilibrada, informarnos sobre el COVID-19, realizar actividades físicas, etc. También hay un buen número de aplicaciones de salud oficiales, como por ejemplo de las diferentes comunidades autónomas en España, para temas como pedir citas médicas, consultar nuestro historial sanitario, etc.

En lo que nos toca, aplicaciones móviles para realizar ejercicio físico y rehabilitación, el resultado es el mismo. Destacar que, en la mayoría de los casos, se trata de aplicaciones que proporcionan vídeo e información para los usuarios o, en otros casos, que se sirven del sensor GPS de nuestros móviles para el cálculo de diversos parámetros.

En nuestro caso, vamos a centrarnos en aplicaciones disponibles para Android y que sean gratuitas. Para cada aplicación se indicará quién la ha desarrollado, su última actualización, su versión actual y los sistemas operativos que soporta. Se detallará en qué consiste y se realizarán y comentarán una serie de pruebas sobre la misma.

❖ Google Fit: Reg. de actividad

Desarrollada por: Google LLC

Versión actual: 2.62.26

Última actualización: 5 de agosto de 2021

Sistemas operativos: Android, iOS, Wear OS

Número de descargas en Google Play: Más de 50 millones

¿En qué consiste?

Aplicación para controlar la realización de ejercicio físico. Mediante un sistema que otorga una serie de puntos, llamados Puntos Cardio, se establece la calidad diaria de los ejercicios llevados a cabo. Reseñar que este sistema fue creado en asociación con la OMS y la American Heart Association de los EEUU. Dispone de diversas funcionalidades: monitorizar los entrenamientos mediante el uso de los sensores internos y obtener parámetros como la velocidad o el recorrido realizado, un sistema de logro de metas mediante Puntos Cardio, historiales de uso de la aplicación, uso de la cámara para calcular la frecuencia respiratoria o cardíaca, etc. Destacar el uso del sensor GPS y de la cámara para la obtención de parámetros (Google LLC, 2021).

Pruebas realizadas

Después de registrarse, la aplicación pide una serie de datos: sexo, edad, peso y altura. Informa del funcionamiento de los Puntos Cardio y pide escoger nuestros objetivos diarios. Ya en la aplicación, como puede verse en la Figura 12, se pueden ver todas las funcionalidades antes comentadas: los objetivos diarios y semanales, el registro personal de actividad, etc.

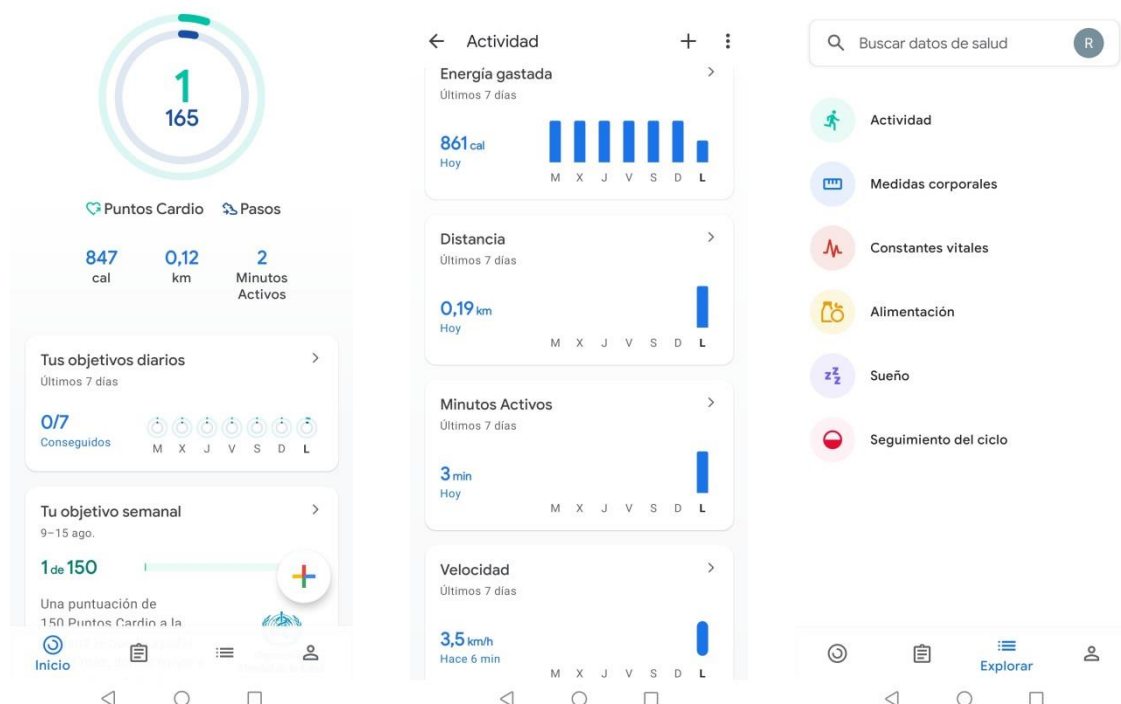


Figura 12. Escenas de la aplicación Google Fit.

❖ ReHand, Rehabilitación de la Mano vía Tablet

Desarrollada por: Healthinn

Versión actual: 2.0.3

Última actualización: 24 de mayo de 2021

Sistemas operativos: Android, iOS

Número de descargas en Google Play: Más de 10000 descargas

¿En qué consiste?

Aplicación para realizar ejercicios de rehabilitación en el elemento “muñeca-mano-dedos”. Se trata de una aplicación creada por especialistas sanitarios y previamente testada en ensayos de más de 600 sujetos. Los pacientes disponen de una serie de ejercicios ajustados a su tratamiento y los especialistas un medio de controlar el proceso de rehabilitación de estos. Los ejercicios van a consistir en completar “toques y recorridos” en la pantalla del dispositivo, una tableta en este caso (Healthinn, 2021).

Pruebas realizadas

Al abrir la aplicación, se indican una serie de consejos/instrucciones para la correcta realización de los ejercicios y la metodología para ir completando cada nivel de dificultad. Se accede a una versión demo de la aplicación, para la versión completa debe ser con recomendación profesional. Después de crear una cuenta de usuario, se accede a los ejercicios de la aplicación (ver Figura 13) y se escoge la mano a tratar. Para cada ejercicio, primero se calibra la colocación de los dedos y ya después se completa el ejercicio (ver figura 14). Si se consigue una puntuación mínima de 90 se pasa al siguiente nivel de dificultad.

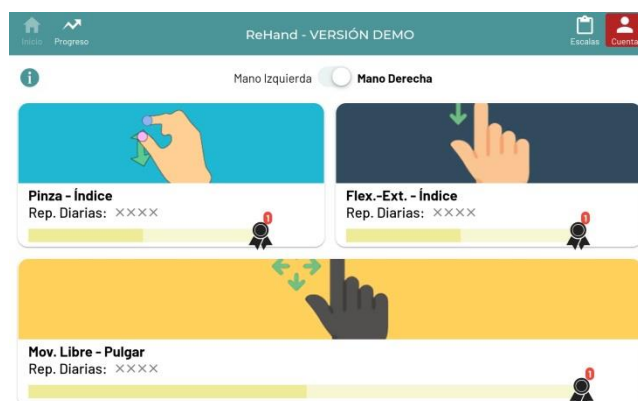


Figura 13. Menú de la aplicación ReHand.

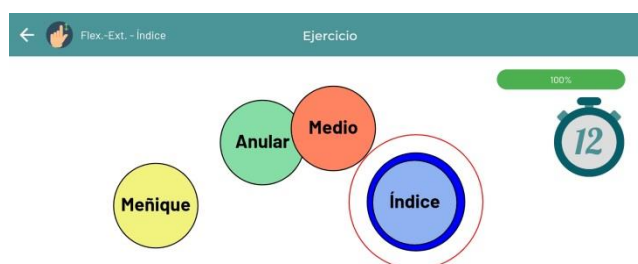


Figura 14. Ejercicio de la aplicación ReHand.

❖ Podómetro gratis - Contador y Seguimiento de Pasos

Desarrollada por: ITO Technologies, Inc.

Versión actual: 5.39

Última actualización: 4 de abril de 2021

Sistemas operativos: Android

Número de descargas en Google Play: Más de 10 millones

¿En qué consiste?

Aplicación para llevar una cuenta de los pasos completados. Lleva a cabo un registro completo de los ejercicios diarios, la distancia recorrida, las calorías consumidas, la duración de los ejercicios/actividades, el ritmo empleado, etc., todo ello con la ayuda de gráficos. La aplicación se ejecutará con el dispositivo móvil en el bolsillo, por ejemplo, mientras se realiza la actividad física deseada. No se sirve del sensor GPS para la obtención de parámetros, lo cual reduce el gasto de batería. Destacar que los desarrolladores de la aplicación aconsejan hacer “10000 pasos por día” (ITO Technologies, 2021).

Pruebas realizadas

Esta aplicación no requiere de ningún tipo de registro. Aplicación muy sencilla de utilizar. Es importante seguir las instrucciones y dar los permisos adecuados en su primer uso para que funcione sin problemas. Como puede verse en la Figura 15, muestra todos los datos ya comentados anteriormente de una manera muy visual.



Figura 15. Escena de la aplicación Podómetro gratis.

❖ Ejercicios de dolor de espalda

Desarrollada por: Vladimir Ratsev

Versión actual: 1.0.99

Última actualización: 22 de junio de 2021

Sistemas operativos: Android, iOS

Número de descargas en Google Play: Más de 500000 descargas

¿En qué consiste?

Aplicación para rehabilitar o evitar posibles trastornos asociados a la espalda o el cuello. Dispone de más de 100 ejercicios para espalda baja, cuello, columna, piernas, cintura, abdomen, etc. El objetivo de la aplicación es conservar en buen estado la espalda y mantener una posición adecuada. Los ejercicios a realizar disponen de: vídeo informativo, pasos a seguir, cronómetro y una serie de señales auditivas para seguir los ejercicios. Se puede disponer de cualquier ejercicio y adaptarlo a nuestras necesidades (Vladimir Ratsev, 2021).

Pruebas realizadas

Esta aplicación no requiere de ningún tipo de registro. Al abrirla, ver escena izquierda de la Figura 16, se puede seleccionar uno de los entrenamientos disponibles o crear uno propio con los ejercicios que mejor te vengan. Cada entrenamiento tiene sus ejercicios, y cada ejercicio viene con sus instrucciones escritas y visuales de como completarlo (ver escena central de la Figura 16). Un vídeo, un cronómetro y audios ayudan a completar los diferentes ejercicios (ver escena derecha de la Figura 16). En el apartado estadísticas se recogen los entrenamientos que vamos completando cada día.

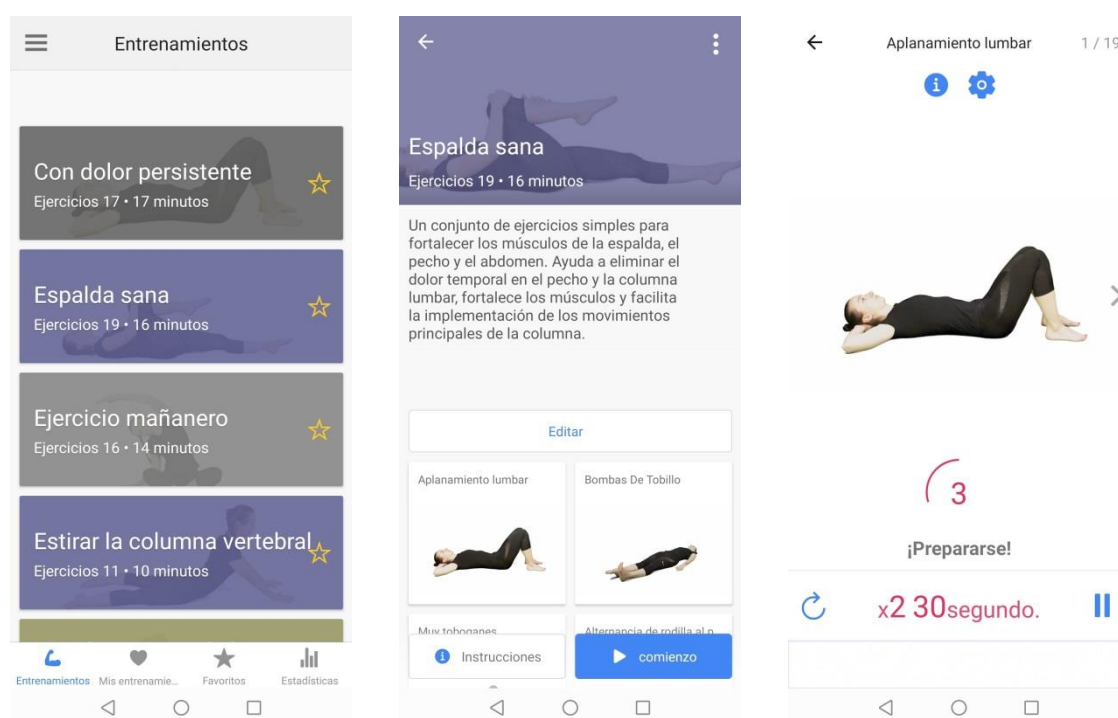


Figura 16. Escenas de la aplicación Ejercicios de dolor de espalda.

❖ Ejercicios para los ojos

Desarrollada por: ShvagerFM

Versión actual: 2.9.7

Última actualización: 16 de julio de 2021

Sistemas operativos: Android

Número de descargas en Google Play: Más de 500000 descargas

¿En qué consiste?

Aplicación para el mantenimiento o rehabilitación de la vista. Se dispone de 6 ejercicios diferentes, muchos más en la versión extendida gratuita, con una duración aproximada de 5 minutos. La realización de los ejercicios consiste en: seguir las instrucciones que se indican en pantalla, replicar el movimiento del ojo que aparece y orientarse por medio de los indicadores sonoros (ShvagerFM, 2021). Decir que puede ser discutible el considerar lo que se hace con esta aplicación como ejercicio físico, pero como un medio de rehabilitación sí parece relevante.

Pruebas realizadas

Esta aplicación no requiere de ningún tipo de registro. Simplemente, hay que seguir las sencillas instrucciones que van apareciendo. Como puede verse en la Figura 17, en cada ejercicio hay que replicar el movimiento del ojo, de tal manera que cuando tengamos los ojos cerrados los sonidos serán los que nos guíen.

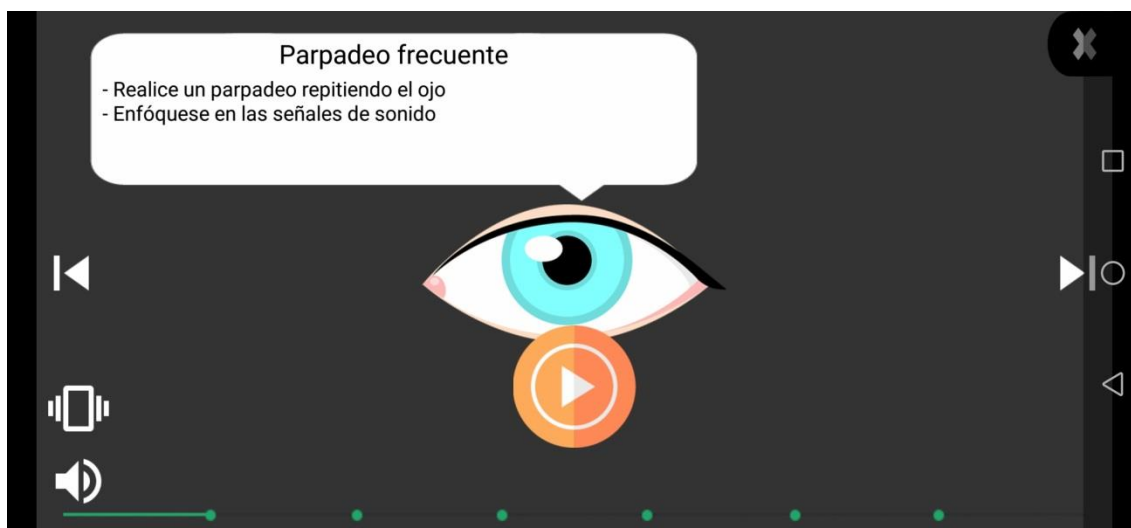


Figura 17. Escena de la aplicación Ejercicios para los ojos.

❖ Sportractive: Correr y Caminar

Desarrollada por: sportractive.com

Versión actual: 4.4.1

Última actualización: 11 de mayo de 2021

Sistemas operativos: Android

Número de descargas en Google Play: Más de 5 millones

¿En qué consiste?

Aplicación para monitorizar la realización de ejercicio físico, como, por ejemplo, correr o practicar ciclismo. Dispone de 28 tipos de ejercicio diferentes. Muestra varios datos relacionados con el ejercicio realizado: velocidad, duración, variaciones de altitud, calorías, frecuencia cardiaca, etc., y gráficos con algunos de estos datos. Otras funcionalidades son: configurar metas, ayuda sonora para completar ejercicios, etc. Destacar el uso del sensor GPS para la obtención de parámetros (Sportractive.com, 2021).

Pruebas realizadas

Esta aplicación no requiere de ningún tipo de registro. En su primer uso, pide una serie de datos: fecha de nacimiento, peso, altura y sexo. La pantalla principal tiene todos los datos anteriormente comentados y los gráficos, que proporcionan un mapa del espacio recorrido o cambios de altitud registrados, entre otras cosas (ver escena izquierda de la Figura 18). La aplicación permite seleccionar el tipo de ejercicio que se está realizando y si quieres acompañarlo con música. Como se ve en las escenas central y derecha de la Figura 18, en el historial se guardan las actividades completadas con todo detalle. También se dispone de informes sobre nuestro cuerpo o la distancia recorrida.

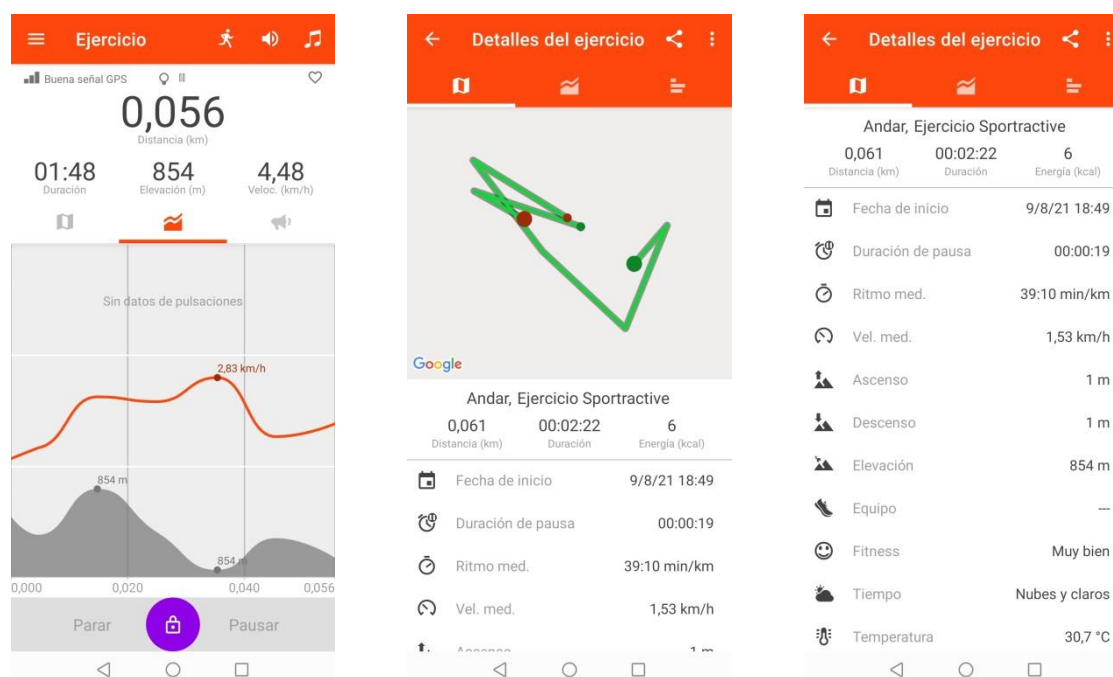


Figura 18. Escenas de la aplicación Sportractive.

❖ LCA

Desarrollada por: Alberto Sanchez

Versión actual: 6.0.0

Última actualización: 20 de febrero de 2021

Sistemas operativos: Android, iOS

Número de descargas en Google Play: Más de 10000 descargas

¿En qué consiste?

Aplicación para la rehabilitación del ligamento cruzado anterior (LCA) después de una rotura. Se dispone de más de 100 ejercicios con instrucciones a seguir por el paciente. Se pueden distinguir tres funciones a realizar: una primera informativa sobre el tipo de lesión y sus tratamientos, una segunda con la rehabilitación y cada uno de sus ejercicios, y una tercera sobre varias técnicas de prevención de este tipo de lesiones. Se trata de una aplicación implementada y revisada por profesionales (Alberto Sanchez, 2021).

Pruebas realizadas

Esta aplicación no requiere de ningún tipo de registro. Hay una pantalla para cada funcionalidad, como se comentó anteriormente. En “Inicio” información sobre la lesión (ver escena izquierda de la Figura 19), en “RHB” las diferentes fases de rehabilitación (ver escena central de la Figura 19) con sus ejercicios, y en “Prevención” recomendaciones para el fútbol y otros deportes. Como se ve en la escena derecha de la Figura 19, cada ejercicio tiene su animación explicativa e información detallada.



Figura 19. Escenas de la aplicación LCA.

❖ Fisioterapia a tu alcance

Desarrollada por: Sacristan

Versión actual: 2.7

Última actualización: 17 de marzo de 2021

Sistemas operativos: Android, iOS

Número de descargas en Google Play: Más de 100000 descargas

¿En qué consiste?

Aplicación para fisioterapia/rehabilitación desde casa. Dispone de una serie de vídeos e información de diversos blogs sobre diferentes partes del cuerpo. Ofrece ejercicios e instrucciones sencillas de seguir y completar, y proporciona la posibilidad de acceder a tratamiento en línea (Sacristan, 2021).

Pruebas realizadas

En su pantalla principal, ver escena izquierda de la Figura 20, están disponibles todas las funcionalidades de la aplicación. Con las dos primeras se buscan los ejercicios asociados a nuestra lesión, por ejemplo para hombro ver escena central de la Figura 20, y para cada ejercicio tendremos vídeo explicativo e información a seguir para completarlo sin problemas. Está la sección de blogs (ver escena derecha de la Figura 20) y la de programas específicos, para esta última será necesario registrarse.

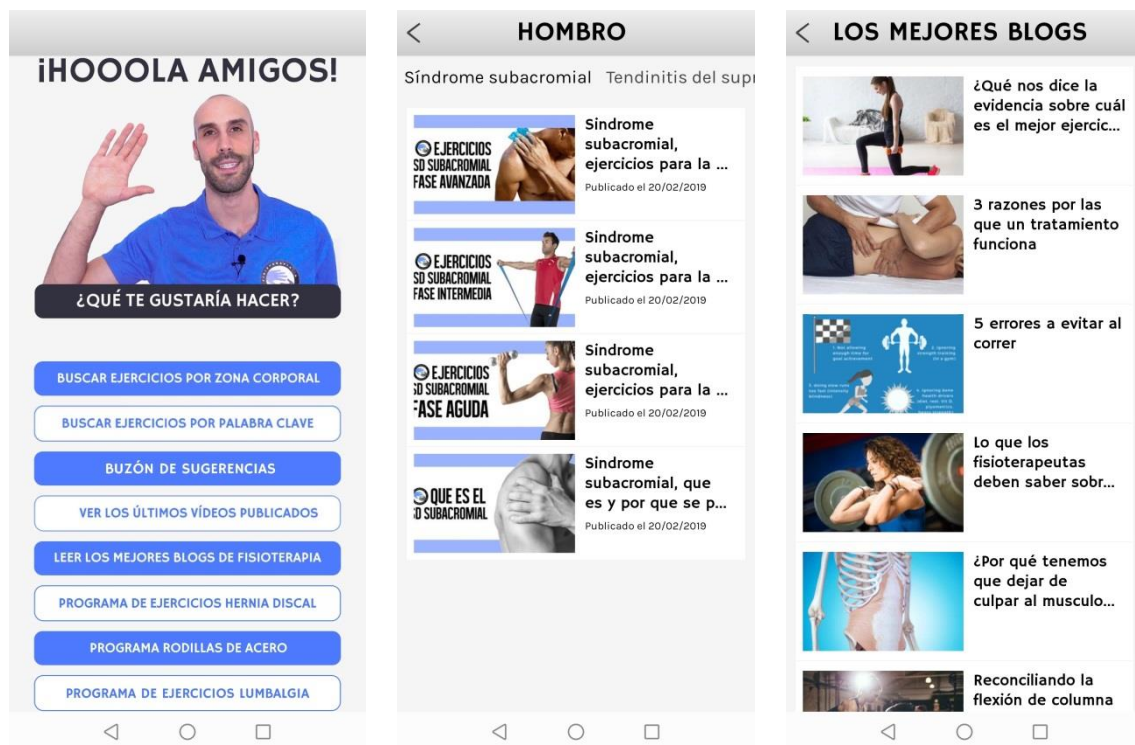


Figura 20. Escenas de la aplicación Fisioterapia a tu alcance.

❖ adidas Training - Entrenamiento Fitness & HIIT

Desarrollada por: Adidas Runtastic

Versión actual: 6.1

Última actualización: 2 de agosto de 2021

Sistemas operativos: Android, iOS, Wear OS

Número de descargas en Google Play: Más de 10 millones

¿En qué consiste?

Aplicación para hacer entrenamientos y ejercicio físico en general, sin ningún tipo de elemento externo. Dispone de numerosos vídeos informativos para ayudar a completar los diferentes ejercicios. Destinada a mejorar es estado físico de abdominales, muslos, bíceps, etc. Otras funcionalidades de interés: diferentes niveles de entrenamiento, calendarios adaptados al usuario, recomendaciones sobre salud o nutrición, establecimiento de objetivos, etc. (Adidas Runtastic, 2021).

Pruebas realizadas

Después de registrarnos, la aplicación pide una serie de datos para adaptar nuestros entrenamientos: sexo, fecha de nacimiento, ubicación (país), objetivo de uso de la aplicación, la cantidad de ejercicio que hacemos normalmente y las razones de esto último. Como se comentó en la descripción, tenemos una sección con múltiples entrenamientos (ver escena izquierda de la Figura 21), cada uno de los cuales empieza con su calentamiento y sigue con cada uno de los ejercicios, siendo todo el proceso muy detallado con vídeos y audio que te va guiando paso a paso hasta completar el ejercicio, en la escena central de la Figura 21 se ve un momento del entrenamiento. Se dispone de diferentes planes de entrenamiento, una sección de noticias y la opción de ver nuestro progreso diario (ver escena derecha de la Figura 21).

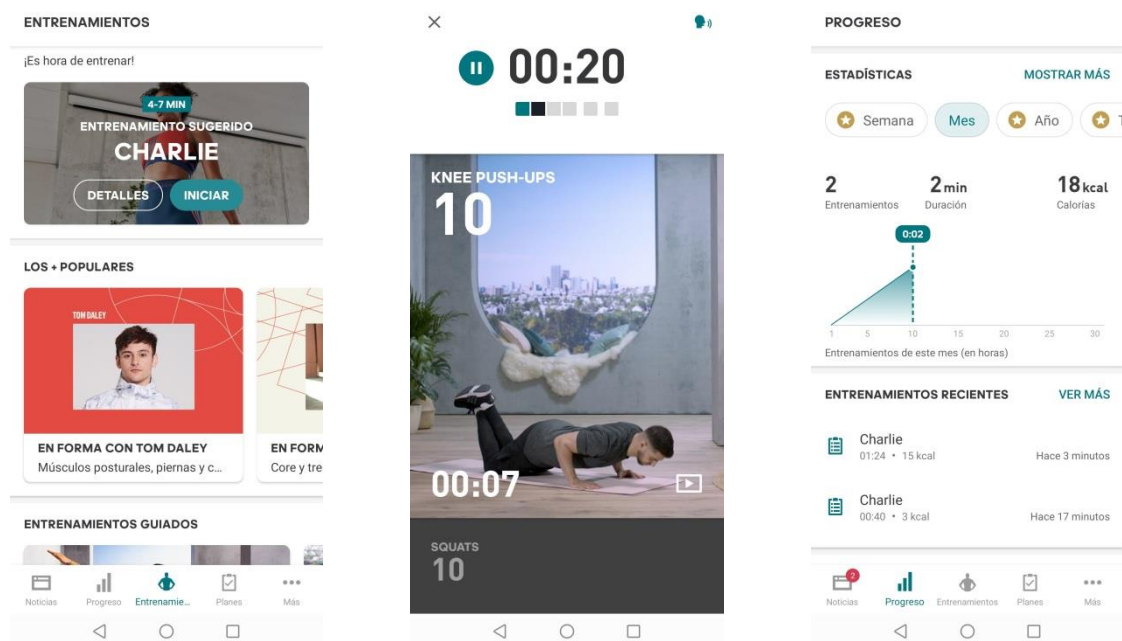


Figura 21. Escenas de la aplicación adidas Training.

3.3 Una breve introducción a Unity3D

Una simple introducción a Unity3D podría suponer la realización de todo un TFG completo. Aquí, sin embargo, vamos a hacer una breve descripción del Editor de Unity y de algunos de sus más importantes componentes, hablaremos de los GameObjects, de los dispositivos de entrada, de cómo generar el código para nuestros proyectos y la forma de exportar nuestro trabajo para que sea accesible en un dispositivo Android.

Como ya comentamos en la introducción, el programa es un motor para la creación de juegos, aplicaciones y escenas 2D, 3D y VR (Unity, 2021). Remarcar que la versión de Unity3D utilizada es la 2017.3, que era la última versión estable en el momento de empezar a crear nuestra aplicación.

Al acceder al programa, lo primero que hay que decidir es si nuestro proyecto va a ser en 2D o en 3D, a parte, claro está, de darle un nombre. Tras este primer paso, se accede al Editor con sus respectivas ventanas, en la figura 22 puede verse una captura de pantalla de este Editor y cada una de sus ventanas y componentes más importantes, señalados con un número identificativo.

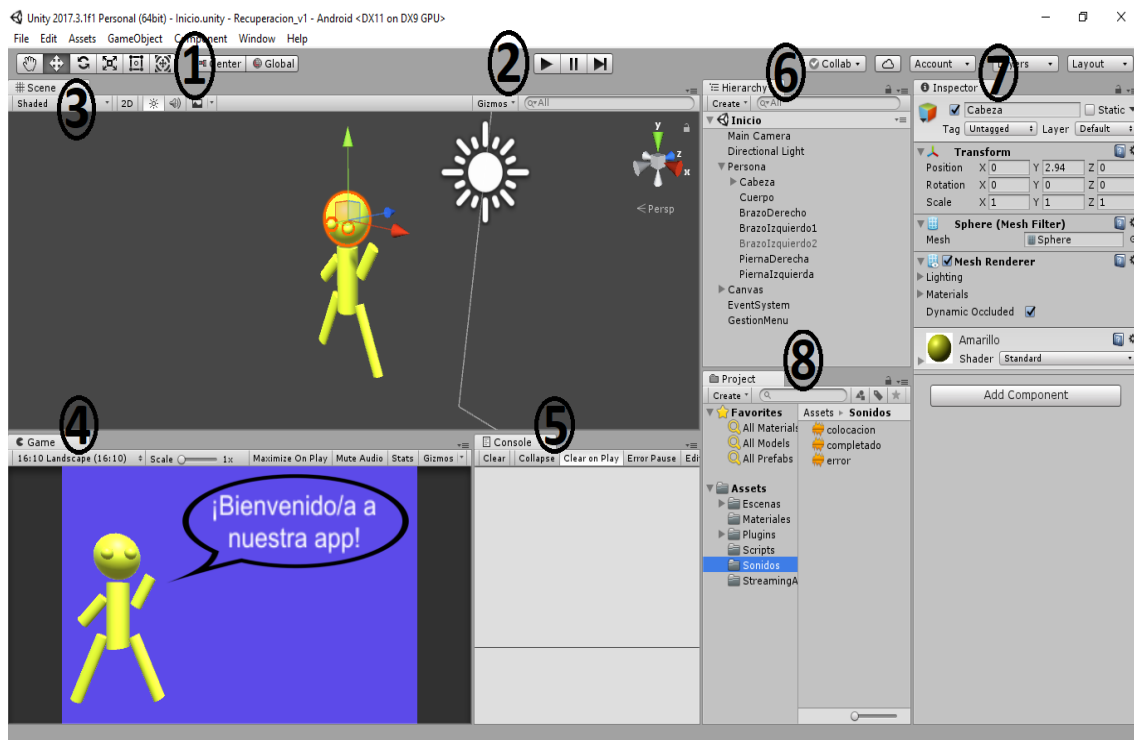


Figura 22. Editor de Unity.

Tomando como referencia la Figura 22, la función de cada ventana/componente más relevante es (Unity, 2018c):

1. **Barra de herramientas:** para actuar sobre la escena (ventana Scene) y los objetos de la misma. Tenemos seis herramientas de izquierda a derecha: Hand Tool, para desplazarse por la escena, orbitar la escena o hacer zoom a la escena; Move, mover el objeto en cualquiera de los tres ejes con las flechas o en planos con los cuadrados; Rotate, rotar el objeto en cualquier eje por medio de las esferas que surgen alrededor; Scale, escalar el objeto en cualquiera de los tres ejes tirando de los cubos individuales o el colectivo; Rect Transform, combina las tres

herramientas anteriores y se usa, sobre todo, en objetos 2D; y Transform, también combina mover, escalar y rotar, y lo hace con los medios de estas herramientas.

2. Modo juego: botones para la reproducción del proyecto en la ventana Game. Mientras reproducimos se pueden hacer modificaciones en el proyecto, pero estas desaparecerán al salir del modo juego.
3. Scene: ventana escena del Editor, en la que irán todos los objetos de nuestro proyecto. Como comentamos anteriormente, con la barra de herramientas se podrá actuar sobre los objetos de esta ventana. Destacar el elemento arriba a la derecha de la ventana, conocido como Scene Gizmo, que nos indica cómo está orientada la cámara de la escena y nos da la posibilidad de poder variarla. Otras funcionalidades se encuentran en la barra de control de la ventana como, por ejemplo, cambiar la visión de 2D a 3D.
4. Game: ventana juego del Editor, en la que podemos ver cómo va quedando nuestro juego. Lo que se ve en esta ventana es lo que se proyecta desde la cámara de la escena. Se usan los botones del modo juego para controlar la reproducción. Otras funcionalidades se encuentran en la barra de control de la ventana como, por ejemplo, cambiar el aspecto para ver cómo se ve nuestro proyecto con diferentes resoluciones de pantalla.
5. Console: ventana consola del Editor, en la que podemos ver los errores y advertencias relativas al código de nuestro proyecto, También pueden verse mensajes generados por nosotros mismos y que queremos que se muestren por consola. Con la barra de herramientas de la ventana podemos hacer modificaciones en la forma de visualizar los diferentes mensajes generados.
6. Hierarchy: ventana de jerarquía del Editor, en la que podemos ver todos los objetos de nuestro proyecto. Aparecen en la lista según el momento en el que fueron generados, pudiéndose cambiar su orden a voluntad. Destacar que se pueden crear estructuras padre-hijo, objetos debajo de otro objeto, que hacen que los objetos hijos dependan del movimiento y de la rotación del objeto padre correspondiente. Como ejemplo ver la Figura 22, en la que el objeto padre 'Persona' tiene siete objetos hijos.
7. Inspector: ventana del inspector del Editor, en la que podemos ver y cambiar todos los detalles y características de cada uno de los objetos que forma parte de nuestro proyecto, así como de los diferentes assets y materiales disponibles. A través de esta ventana, también se puede visualizar y modificar las preferencias y la configuración del editor.
8. Project: ventana proyecto del Editor, en la que podemos ver todos los elementos que forman parte de nuestro proyecto bajo la carpeta principal Assets. Elegimos una carpeta en el panel de la izquierda y su contenido aparece en el panel de la derecha. En 'Favorites' podemos incluir los elementos que más se utilicen para facilitar su búsqueda. Con la barra de herramientas de la ventana podemos hacer, entre otras cosas, búsquedas de cualquier elemento que forme parte de nuestro proyecto así como buscar assets en la Asset Store de Unity. Como ejemplo ver la Figura 22, en la que en la carpeta Assets tenemos seis carpetas diferentes: Escenas, Materiales, Plugins, Scripts, Sonidos y StreamingAssets.

Tras conocer el Editor, ya podemos trabajar con nuestra primera escena. Cada escena tendrá todos los objetos que queramos y necesitemos, como menús interactivos, paisajes, textos informativos, etc. Una vez tengamos la escena terminada, la guardaremos con un determinado nombre y, si queremos, podemos pasar a crear una segunda, tercera, etc., escena para nuestro proyecto. Cada escena es almacenada en la carpeta principal Assets de nuestro proyecto. Como ejemplo ver de nuevo la Figura 22, en la que las diferentes escenas se guardarán en la carpeta Escenas de la carpeta Assets.

Los objetos, llamados GameObjects, de los que hemos hablado son parte fundamental de Unity. Representan cada uno de los elementos que forman parte de las escenas de nuestro proyecto. Cada GameObject tendrá una funcionalidad u otra dependiendo del tipo de componentes que tenga, teniendo la posibilidad de partir de un GameObject vacío y agregarle los componentes deseados o recurrir a GameObjects predefinidos con cada uno de sus componentes necesarios ya incluidos. Todo GameObject va a tener como mínimo un componente Transform, que indica la posición, rotación y escala del objeto en la escena del proyecto. A partir de este, se pueden añadir un gran número de componentes que ayuden a que el objeto cumpla su cometido, como por ejemplo: Rigidbody, que aporta propiedades físicas a un objeto; Colliders, para determinar cómo se comporta un objeto ante colisiones físicas; Text, para incluir texto a mostrar; etc. Cada uno de estos componentes, a su vez, tendrá una serie de propiedades predefinidas que podrán ser modificadas. Destacar que un GameObject puede ser activado o desactivado en una escena cuando lo creamos necesario, tanto desde el Editor como desde código (Unity, 2018a). En resumen, existe una gran variedad de GameObjects a los que se puede otorgar diferentes propiedades físicas, sonoras, visuales, etc.

Hay un componente especial en Unity que permite modificar el proceder de los objetos hasta un punto que no llegan los componentes disponibles en el Editor: los scripts. Mediante estos scripts vamos a controlar cualquier cosa que ocurra en la escena, desde modificar la posición de un objeto hasta hacer que un objeto se active y muestre un texto. Son creados en la ventana Project y es recomendable nombrados en el momento. Al acceder a ellos, mediante un editor de texto como el de Microsoft Visual Studio Community 2017, podemos escribir nuestro código en C# que controle el objeto correspondiente (Unity, 2018d).

En Unity, la recogida de datos proporcionada por los diferentes dispositivos de entrada es vital para el desarrollo de nuestros proyectos. En el caso que nos ocupa, los dispositivos móviles, tendremos información “de la pantalla táctil, del acelerómetro y de la entrada geográfica/ubicación” (Unity, 2018b).

Para poder exportar nuestro proyecto en Unity a Android debemos hacer dos configuraciones básicas. La primera es instalar las herramientas necesarias para poder llevar a cabo la exportación, paso que solo habrá que hacer la primera vez. En el Editor de Unity, vamos al menú ‘Edit’ y dentro a ‘Preferences...’ y accedemos a las preferencias de Unity. Ahora accedemos a ‘External Tools’ (ver Figura 23) y nos fijamos en las casillas SDK y JDK de Android. Hay que descargar e instalar ambas herramientas e indicar en la casilla correspondiente la ruta de instalación. Hay que recurrir a la documentación de Unity para ver que versión de Java Development Kit (JDK) hay que instalar de acuerdo a la versión de Unity que estamos usando, en nuestro caso el JDK 8 (1.8), 64-bit. También hay que configurar las variables de entorno para poder trabajar con Java (Juande, 2005).

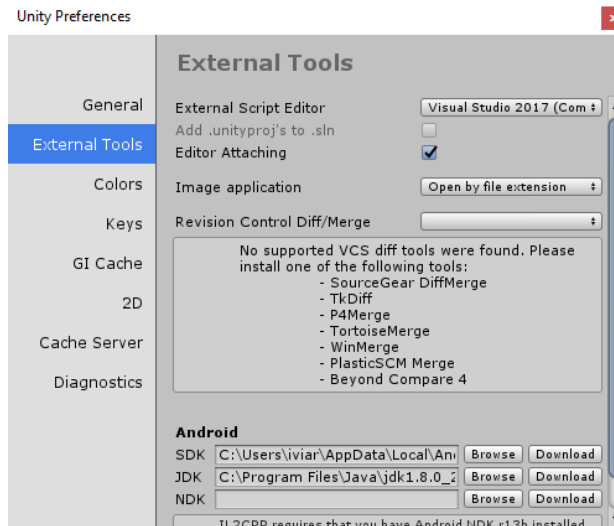


Figura 23. Preferencias de Unity.

En posteriores versiones, como la actual 2020.2, ya se instalan con Unity las herramientas Android SDK y NDK y OpenJDK sin necesidad de tenerlo que hacer manualmente, lo que ahorra tener que hacer la configuración anterior (Unity, 2020).

La segunda configuración consiste en detallar los parámetros de exportación de nuestro proyecto, paso que habrá que hacer todas las veces que sea necesario. En el Editor de Unity, vamos al menú 'Edit', dentro al menú 'Project Settings' y dentro a 'Player' y accedemos en la ventana del inspector a sus diferentes opciones, de las que comentaremos las principales para Android.

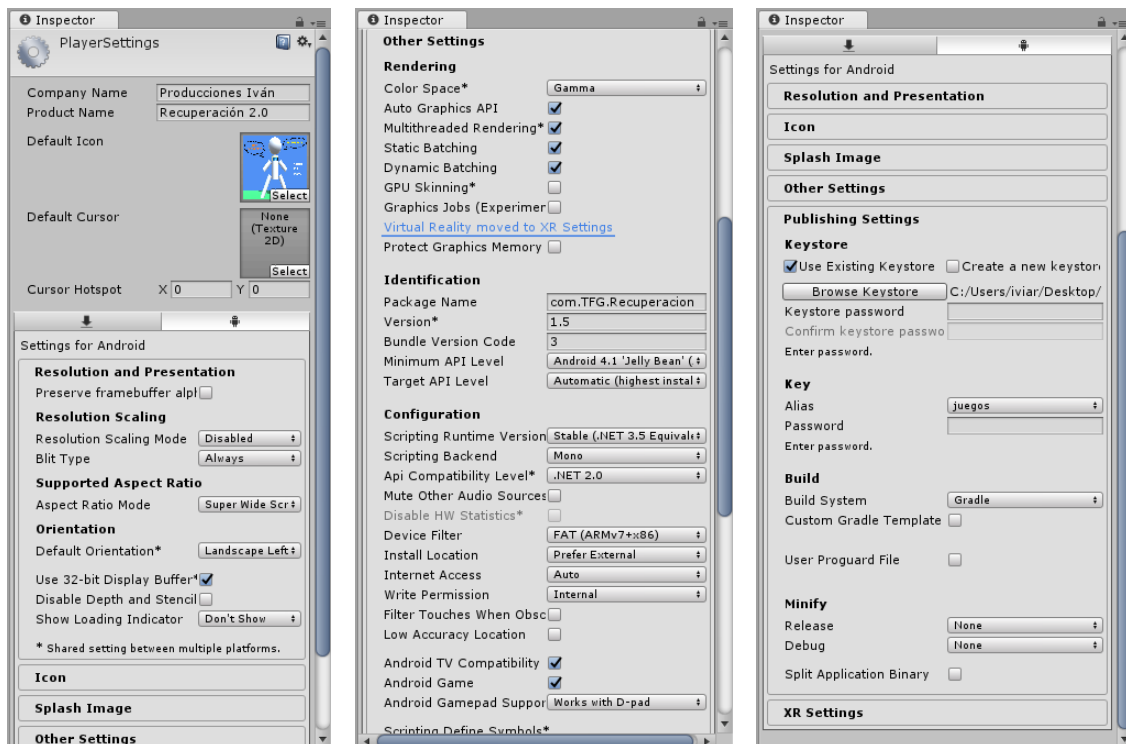


Figura 24. Parámetros de exportación de Unity.

Como vemos en la imagen izquierda de la Figura 24, podemos poner el nombre de la compañía, del producto y una imagen como icono de la aplicación. En el apartado de

‘Resolution and Presentation’ es importante especificar en orientación por defecto la que queremos para nuestra aplicación, por ejemplo en la Figura 24 tenemos ‘Landscape Left’ ya que queremos que la aplicación se ejecute siempre en horizontal. Como vemos en la imagen central de la Figura 24, en el apartado de ‘Other Settings’ son importantes los campos de identificación: ‘Package Name’ es el identificador de nuestra aplicación que debe ser único al subirlo a una tienda oficial de aplicaciones, con los dos siguientes indicamos la versión actual de la aplicación y con ‘Minimum API Level’ seleccionamos la versión mínima de Android en la que nuestra aplicación funcionará. Y por último, como vemos en la imagen derecha de la Figura 24, tenemos el apartado de ‘Publishing Settings’. Aquí lo que se hace es firmar la aplicación, es decir, registrarla mediante una clave personal de tal modo que cuando la subamos a una tienda oficial, como Google Play para Android, podamos actualizarla usando la clave. Si aún no disponemos de una clave, seleccionamos la opción de crearla y seguimos los pasos para obtener primero el archivo de claves y luego la clave. Este archivo de claves servirá no solo para actualizar nuestra aplicación, también podremos usarlo para firmar futuras aplicaciones. Una vez creada, registramos tanto el archivo de claves como la clave con sus respectivas contraseñas (Juande, 2005).

El último paso ya es obtener nuestra aplicación en formato APK, para ello en el Editor de Unity vamos al menú ‘File’ y dentro a ‘Build Settings...’. Primero añadimos todas las escenas de nuestra aplicación, siendo la primera la escena por defecto, y seleccionamos la plataforma Android. Presionando en ‘Build’, y si no se produce ningún error, se generará en segundos nuestra aplicación para Android.

3.4 Acelerómetros/giróscopos en dispositivos móviles

Como puede verse en la Figura 25, los teléfonos inteligentes actuales tienen un amplio conjunto de sensores, como el micrófono, el giroscopio, el acelerómetro, el sensor de imagen CMOS, sensores de temperatura, sensores de huellas dactilares, etc. (Majumder y Deen, 2019).



Figura 25. Sensores de un teléfono inteligente (Majumder y Deen, 2019).

Si especificamos el análisis en dispositivos Android, tenemos tres tipos de sensores (Android Developers, s.f.):

- De movimiento: “miden las fuerzas de aceleración y las fuerzas de rotación en tres ejes”, algunos son el acelerómetro y el giroscopio.
- De posición: “miden la posición física de un dispositivo”, tenemos el magnetómetro y los sensores de orientación.

- Ambientales: “miden varios parámetros ambientales, como la temperatura y la presión del aire ambiental, la iluminación y la humedad”, tenemos el termómetro, el barómetro y el fotómetro.

Centrándonos en los sensores de movimiento, se caracterizan por usar un sistema de coordenadas de tres ejes (ver Figura 26), independientemente de la orientación de pantalla del dispositivo móvil en uso (Android Developers, s.f.).

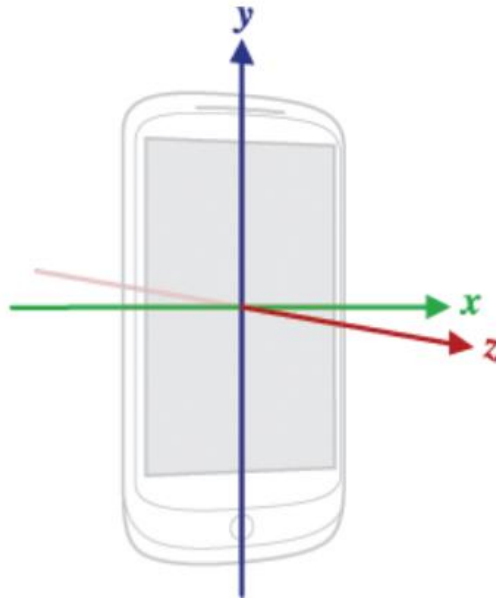


Figura 26. Sistema de coordenadas de tres ejes (Android Developers, s.f.).

Tenemos numerosos sensores de movimiento basados en software, como por ejemplo los sensores vectoriales de rotación, que usan los datos del acelerómetro, del giroscopio y/o del magnetómetro. Y, por otro lado, tenemos sensores basados en hardware, como el acelerómetro y el giroscopio (Android Developers, s.f.). Vamos a comentar estos dos últimos.

❖ Acelerómetro

Sensor para medir la aceleración de un dispositivo móvil, también su gravedad. Se utiliza para obtener su inclinación en base a un sistema de coordenadas de tres ejes, ya visto en la Figura 26. En Android, una gran mayoría de dispositivos tienen este sensor y se subraya que tiene la ventaja, frente a los otros sensores de movimiento, de consumir mucha menos batería. Como desventaja, la posible necesidad de tener que recurrir a filtros paso bajo/alto para prescindir de la gravedad asociada o el ruido (Android Developers, s.f.; Hardiyanti, Lawi y Aziz, 2018).

❖ Giroscopio

Como ya indicamos en la introducción, sensor para determinar la velocidad de rotación de un dispositivo móvil, en unidades de rad/s (Android Developers, s.f.). En otras palabras, es un sensor para cuantificar y establecer la orientación en función del momento angular. Utiliza el mismo sistema de coordenadas de tres ejes, de la Figura 26, del sensor del acelerómetro. Usando solo el acelerómetro podríamos no tener bastantes datos sobre la orientación de un dispositivo móvil, hecho que se soluciona incorporando el giroscopio y su peculiaridad de no ser influido por la fuerza de la gravedad. Una gran ventaja de este sensor es ser muy sensible, es decir, tiene un comportamiento óptimo en la captación de giros (Chandra et al., 2018).

4 Materiales y métodos

Este cuarto capítulo se dedica en exclusiva a comentar la aplicación móvil con Unity3D para rehabilitación física. Se comienza con los requisitos a cumplir y con una descripción de las funcionalidades que ha de tener la aplicación, y se sigue con una explicación detallada de la implementación de cada una de las partes de la aplicación.

4.1 Especificación de requisitos y descripción de funcionalidades

Los requisitos iniciales que debía cumplir la aplicación eran:

- Un medio para la rehabilitación de trastornos musculoesqueléticos, requisito sobre el que tenía que pivotar toda la aplicación.
- Empleo de una serie de ejercicios, para diversas partes del cuerpo, como tratamiento de estos trastornos.
- Uso del motor de Unity3D para el desarrollo de la aplicación, con el objetivo adicional de adquirir habilidades en la compilación de juegos serios.
- Una aplicación multiplataforma que pudiera ser accesible al mayor número de personas posible.
- La posibilidad de poder llevar a cabo una comparativa con otras aplicaciones semejantes.

En cuanto al requisito de conseguir una aplicación multiplataforma, la idea inicial es que fuera accesible para las plataformas iOS, tvOS y Android. En cuanto a la primera, se hicieron pruebas con el giroscopio de un iPhone 5 dando resultados incorrectos cada vez en un eje diferente, probablemente debido a que alguno de los golpes que tenía el dispositivo móvil hubiera afectado al sensor. Para tvOS, se utilizó un reproductor multimedia Apple TV disponible en el laboratorio del Grupo de Telemática e Imagen (GTI). En este caso, el problema fue que el mando Siri Remote de esta versión no tenía giroscopio, lo que descartaba su uso. Por estas razones, al final se decidió que la aplicación solo estuviera disponible para Android. Esta decisión también se puede respaldar en el hecho de que Android es, con mucha claridad, el sistema operativo con un mayor número de usuarios en el mundo. Un ejemplo de este hecho se puede ver en el informe Ditrendia (Ditrendia, 2020) con la red social Facebook, la de mayor número de usuarios del mundo, donde hasta un 80,8% de sus accesos que se producen por medio de un dispositivo móvil se hacen desde Android, como puede verse en la figura 27.



Figura 27. Accesos a Facebook (Ditrendia, 2020).

Como se indicará en el último capítulo, una clara línea futura será extender el uso de la aplicación a estas plataformas descartadas. Para ello, bastará con disponer de un dispositivo iOS ‘sano’ y un APPLE TV con giroscopio para poder completar las pruebas necesarias.

Una vez descartada la opción multiplataforma, las funcionalidades de la aplicación, muchas de ellas incorporadas durante la implementación de la misma, son:

- La posibilidad, para un usuario final, de crear un ejercicio desde cero o realizar un ejercicio ya predefinido.
- En los ejercicios predefinidos, un total de 10 ejercicios diferentes a hacer. En 9 de los ejercicios la rotación será en un solo eje y, en el otro, en dos ejes (único caso en la aplicación).
- Doble método en la creación de ejercicios: realizar el ejercicio y guardarlo, o seleccionar los ángulos de rotación ‘sobre la marcha’. En ambos casos se podrán crear ejercicios de un solo eje.
- En cuanto a los ejercicios creados, se ha incorporado una base de datos a la aplicación con el objetivo de ir almacenándolos para poder ser reutilizados en un futuro por el usuario.
- Posibilidad de eliminar o de actualizar un ejercicio, previamente creado, de la base de datos de la aplicación.
- Diferentes paneles informativos para guiar y facilitar el uso de la aplicación en cada una de sus escenas.
- Diferentes indicadores visuales y sonoros para apoyar la correcta realización del ejercicio.
- Posibilidad de que el usuario pueda escoger el número de repeticiones a hacer para cada ejercicio.
- Opción de recibir un correo informativo del ejercicio realizado tras su conclusión.
- Opción de cambiar el idioma de la aplicación, con dos posibilidades: español e inglés.
- Opción de mostrar, durante la realización de los diferentes ejercicios, información relativa a los ejes, orientación y rotación (en ángulos y cuaterniones) del dispositivo móvil.

En el ANEXO A de este Trabajo de Fin de Grado se encuentra el manual de usuario de la aplicación, con información detallada de la versión, instalación y uso de la aplicación ‘La app de la recuperación’. Comentar que en los apartados siguientes de este cuarto capítulo se va a hacer mención, un buen número de veces, a información y figuras de este anexo.

Se indicará para cada escena los objetos que forman parte de ella y su función así como todos sus scripts asociados. Para diferenciar el código fuente utilizado del resto del texto usaremos la fuente Courier New de 10 puntos, siguiendo las indicaciones de las Normas APA.

4.2 Elementos comunes en cada escena

Cada escena de la aplicación va a tener una serie de elementos comunes. En este apartado vamos a comentar los más importantes y así evitaremos repetir conceptos en apartados sucesivos.

Editor de Unity

En cada escena habrá, al menos, un componente llamado Canvas. Este componente es un espacio ocupado por la interfaz de usuario (UI) de la aplicación, y todos los objetos que formen parte de la UI serán hijos del Canvas (Unity, 2018f). En este objeto van a estar todos los textos, botones, barras de desplazamiento, etc., de la aplicación, todos ellos objetos de UI. Decir que al crear por primera vez en una escena un objeto UI, se crea automáticamente su objeto padre Canvas. En el caso de los botones de la aplicación, van a tener un script asociado que controla, mediante una variable booleana pública denominada ‘pulsado’, cuándo:

- Se pulsa:

```
public void OnPointerDown(PointerEventData eventData)
{
    pulsado = true;
}
```
- Se deja de pulsar:

```
public void OnPointerUp(PointerEventData eventData)
{
    pulsado = false;
}
```

Con esto podemos establecer, mediante código, qué hacer cuando se pulsa o se deja de pulsar un botón en cualquier escena de la aplicación.

Otro elemento común en cada escena va a ser un objeto vacío, que hemos llamado ‘GestionMenu’, al que vamos a asignar el script encargado de administrar lo que ocurre en esa escena.

Script

En cada script encargado de administrar una escena se van a usar siempre los dos métodos principales, que aparecen por defecto, en C#:

- `Start()`: llamado cuando un objeto empieza a existir
Se va a ejecutar siempre, como mínimo, un método llamado `IdiomaIngles()`, cuya función es aplicar un cambio de idioma a la escena si se detecta que hemos seleccionado cambiar el idioma de la aplicación en el menú principal.
- `Update()`: llamado en cada frame
En este método se lleva a cabo gran parte de la administración de la escena, ya que en cada frame se detectan los cambios producidos en la misma.

También, en cada script, se van a crear una serie de variables. Destacar las que van a tener la referencia a cada uno de los objetos del Editor que necesitemos, variables que van a ser públicas y por tanto van a aparecer en la ventana del Inspector del objeto ‘GestionMenu’ correspondiente, en su componente script. Aquí tendremos que asignar cada referencia con su objeto correspondiente, y lo podemos hacer arrastrando el objeto de la ventana Hierarchy a su casilla correspondiente del Inspector.

4.3 Implementación del menú principal

Al entrar en la aplicación, las dos primeras escenas que nos encontramos son:

- Inicio: una escena introductoria que saluda al usuario y presenta la aplicación, con una duración aproximada de 6 segundos.
- Menú principal: escena principal de la aplicación, con las opciones y ajustes disponibles.

Como puede verse en la Figura 52 del ANEXO A, la escena menú principal presenta una serie de objetos UI: botones y texto. Mediante el componente ‘Rect Transform’ de cada uno de ellos, podemos fijar el objeto dentro del Canvas usando las herramientas disponibles, como el pivote y los anclajes.

En el método `Start()` del script de la escena, solo tenemos el método `IdiomaIngles()`.

En el método `Update()` se controla el comportamiento de los diferentes botones del menú. Se usa una estructura ‘if... else if... else...’ que abarca todos los botones disponibles. Por ejemplo:

- Botón ‘Cree su propio ejercicio’:

```
if (boton1.pulsado)
{
    SceneManager.LoadScene("CrearEjercicioLibre");
}
```

Si el botón es ‘true’, es decir, si el botón es pulsado, se carga la escena correspondiente.

- Botón informativo  de ‘Cree su propio ejercicio’:


```
else if (botonInfol.pulsado)
{
    panelInfol.SetActive(true);
    Invoke(methodName: "QuitarPanelInfol", time: 4f);
}
```

Si el botón es pulsado, se activa un panel informativo sobre la opción. Mediante ‘Invoke’, se invoca el método ‘QuitarPanelInfol’ (que desactiva el panel informativo) a los 4 segundos.

- Al pulsar el botón  aparece un panel que nos indica si estamos seguros de salir, al pulsar el botón ‘SÍ’:

```
else if (botonSalidal.pulsado)
{
    Application.Quit();
}
```

Si el botón es pulsado, se sale de la aplicación.

Mediante el botón  se accede a los ajustes de la aplicación: idioma y visualización de datos. Para ello, se crean dos variables globales a las que se pueda acceder desde cualquier clase de la aplicación:

- Variable que recoge la opción idioma de la aplicación (true=español y false=inglés), por defecto true.
`public static bool español = true;`

- Variable que recoge la opción datos de la aplicación (true=activada y false=desactivada), por defecto false.

```
public static bool datos;
```

Por tanto, la modificación de estas variables, seleccionando un botón u otro, afectará a toda la aplicación.

También se crean otras dos variables globales que recogen el nombre y el email en caso de envío de un correo electrónico informativo. Al ser globales, solo tendremos que introducir estos datos una vez en cada uso de la aplicación.

4.4 Implementación de ejercicios predefinidos

En este apartado se presenta la primera forma de realizar ejercicios con la aplicación: recurrir a un ejercicio predefinido.

Menú con 10 ejercicios

Como puede verse en la Figura 58 del ANEXO A, la escena se corresponde con el menú de la opción. Mediante 10 botones se puede escoger el ejercicio a realizar. Por ejemplo, el primer botón, nos lleva a un ejercicio en el que hay que girar el pecho de derecha a izquierda, giro por lo tanto en el eje 'z'.

Se añade a la escena la opción de enviar un correo informativo. Para ello se recurre a tres objetos UI (Unity, 2018f):

- Un Toggle: objeto con una casilla de verificación para poder indicar si el Toggle está activado o desactivado. Nos servimos de este objeto para determinar si queremos enviar un correo.
- Dos Input Field: objetos para introducir texto por parte de usuario. Nos servimos de estos objetos para indicar nuestro nombre y la dirección a la que enviar el correo.

En el método `Start()` del script de la escena, aparte del método `IdiomaIngles()`, tenemos:

- ```
toggleCorreo.onValueChanged.AddListener(delegate {
OnToggleValueChanged(); });
```

  
Agrega un listener al toggle principal que invoca un método cuando cambia el valor. El método `OnToggleValueChanged()` lo que hará es mostrar un panel con los Input Field para introducir nombre y correo.
- Un método auxiliar que detecta si ya han sido introducidos el nombre/correo con anterioridad, evita tener que volver a escribirlos.

En el método `Update()` se controla el comportamiento de los diferentes objetos UI del menú. Se usa una estructura 'if... else if... else...' que abarca todos los objetos disponibles, semejante al menú principal. La única particularidad es que si tenemos activado el toggle y no hemos rellenado los campos de los Input Field, al presionar los botones de los ejercicios no se podrá acceder a los mismos.

Cada botón nos llevará a una escena con un ejercicio concreto. Vamos a describir solo la primera de ellas, ya que las demás tienen una estructura semejante.

## Ejercicio 1

Cada ejercicio predefinido, como puede verse en la Figura 60 del ANEXO A, se caracteriza por su Canvas y por el objeto Persona.

En el Canvas vamos a tener varios objetos UI:

- Un primer panel inicial: en el que tendremos una imagen informativa de como colocar el dispositivo móvil de forma correcta para hacer el ejercicio (ver Figura 61 del ANEXO A). También tendremos un segundo panel en el que escogeremos el número de repeticiones a hacer, con un máximo de 10. Para esto último, nos servimos de un Slider, objeto que arrastra el usuario y devuelve un valor decimal (Unity, 2018f).
- Un segundo panel inicial: con texto que indica que se puede tocar en cualquier lugar de la pantalla para comenzar. Para ello, todo el panel se comporta como si fuera un botón al uso.
- Un tercer panel inicial: indicativo de móvil incorrectamente colocado (ver Figura 62 del ANEXO A). De nuevo, aparece una imagen informativa de como colocar el dispositivo móvil de forma correcta para hacer el ejercicio. A los pocos segundos, se vuelve al segundo panel inicial.
- Un panel opcional de datos: se muestra si activamos en los ajustes del menú principal la opción de visualizar los datos. Como puede verse en la Figura 53 del ANEXO A, se ve una imagen de los ejes y texto relativo a la orientación y rotación (en ángulos y cuaterniones) del dispositivo móvil.
- Un panel final: con un par de botones para repetir el ejercicio o volver al menú de ejercicios predefinidos.
- Varios botones para entrar/salir de cada opción.
- Imágenes, con forma de viñetas, informativas: imágenes que van a ayudar a la correcta realización de los ejercicios. Irán desde imágenes que indican cómo realizar el ejercicio hasta otras que indican ejercicio completado.
- Marcador de repeticiones completadas: mediante un objeto de tipo texto se irán incrementando las repeticiones hasta dar el ejercicio por completado. Se usará el formato: ‘Repetición / Repeticiones totales’.

A mayores, se usarán tres elementos sonoros. Se adjuntará tres elementos AudioSource al objeto vacío ‘GestionMenu’ de la escena, que servirán de ayuda a la realización de los ejercicios.

El otro elemento fundamental de la escena, y de toda la aplicación, es el objeto ‘Persona’. Este objeto va a replicar en sus objetos hijos el movimiento de la parte del cuerpo en el que esté colocado nuestro dispositivo móvil, y lo va a hacer sirviéndose de los datos proporcionados por el giroscopio. Para ello hemos creado un personaje, sostenido sobre un suelo, al que se le pueden diferenciar claramente: cabeza, cuerpo, brazo derecho, brazo izquierdo, pierna derecha y pierna izquierda. Cada uno de estos objetos será protagonista de un ejercicio en concreto y llevará asociado un script personalizado que replique en la escena la rotación del dispositivo móvil en la parte de nuestro cuerpo correspondiente.

Como puede verse en la Figura 28, el personaje ha sido creado usando objetos 3D, más concretamente una esfera para la cabeza y cilindros para el resto del cuerpo. En los ejercicios de cabeza también se ha incluido un cuello, para remarcar más el movimiento.

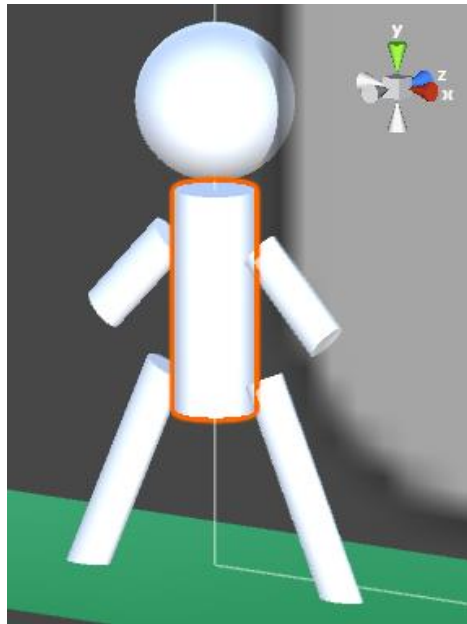


Figura 28. Objeto 'Persona' en la escena.

Para controlar el movimiento de los objetos se recurre a tres componentes: Rigidbody, Fixed Joint y Hinge Joint. Vamos a explicarlos tomando como ejemplo este Ejercicio 1 y sus ventanas en el Editor.

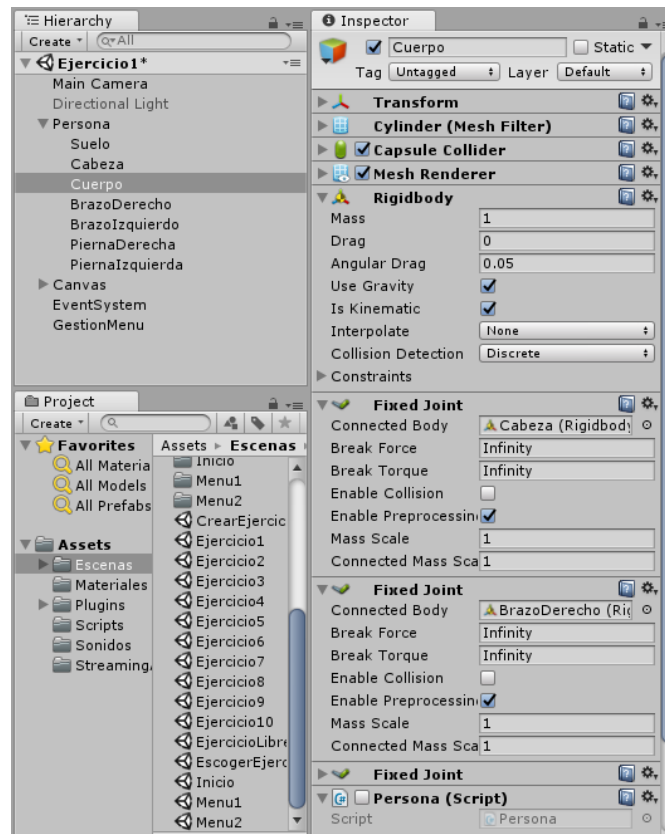


Figura 29. Ventanas de jerarquía e inspector en el 'Ejercicio 1'.

Recordar que el Ejercicio 1 consiste en un movimiento del pecho, por lo tanto el objeto a mover en la escena será el ‘Cuerpo’. Con el movimiento de este objeto, se van a ver arrastrados también la cabeza y ambos brazos, que es lo natural al mover el pecho. En Unity, para que estos objetos se vean afectados por la física precisan de un componente llamado Rigidbody, al que se pueden aplicar fuerzas que generan el movimiento de un objeto. Con la opción ‘Is Kinematic’ activa se ignora la física y se moverá el objeto con su Transform, lo cual es importante para el uso de los otros dos componentes: Fixed Joint, que hace que un objeto dependa del movimiento de otro; y Hinge Joint, que hace que dos objetos se muevan en modo bisagra. El uso de un Rigidbody es obligatorio al trabajar con estos componentes (Unity, 2018f). Como vemos en la Figura 29, el objeto Cuerpo tiene ‘Is Kinematic’ activo ya que lo vamos a mover con su Transform, el cual dependerá de la rotación registrada por el giroscopio. También tiene tres componentes Fixed Joint asociados a cabeza y brazos, con lo cual se consigue que se muevan al unísono del Cuerpo. En otros ejercicios el esquema es el mismo, variando el uso de los componentes.

Y, el último componente importante, es el script que hace replicar la rotación registrada por el giroscopio en el Transform de un objeto concreto. En la Figura 29, tenemos el script Persona asociado al objeto ‘Cuerpo’.

```

1 using UnityEngine;
2
3 public class Persona : MonoBehaviour {
4
5 void Start()
6 {
7 //Activar el giroscopio
8 Input.gyro.enabled = true;
9 }
10
11 void FixedUpdate()
12 {
13 //Aplicación del giroscopio en el transform 'Persona'
14 transform.Rotate(-Input.gyro.rotationRateUnbiased.x, -Input.gyro.rotationRateUnbiased.y, Input.gyro.rotationRateUnbiased.z);
15 }
16 }

```

Figura 30. Script para ejercicios de cabeza y pecho.

La Figura 30 es una captura de pantalla de uno de estos scripts, en este caso empleado en ejercicios de cabeza y pecho. En el método `Start()` se habilita el giroscopio, por si no lo estuviera ya. En el método `FixedUpdate()` se aplica el giroscopio al transform del objeto Persona, en este caso. Con `Input.gyro.rotationRateUnbiased` se obtiene la tasa de rotación sin ‘sesgo’ del giroscopio (Unity, 2018f). Como ya hemos comentado, se busca replicar la rotación en la escena, para lo cual en este caso se aplican los ejes del giroscopio como se ve en la figura. Con los ejercicios de brazos y piernas, los ejes ‘x’ e ‘y’ del giroscopio se aplicarán de forma invertida, ya que hay que tener en cuenta que la orientación del dispositivo móvil en estos casos va a cambiar.

### Script del Ejercicio 1

Script encargado de administrar lo que ocurre en la escena 1, en este caso. Como ya hemos dicho, será un componente del objeto ‘GestionMenu’ de la escena. Vamos a centrarnos en comentar lo más relevante.

En el método `Start()` del script de la escena, solo tenemos el método `IdiomaIngles()`.

En el método `Update()` se administra todo lo que ocurre en la escena. Tenemos un primer método para dar respuesta a los submenús iniciales y el final, cuya función es ir activando/desactivando los paneles de la escena. Destacar en esta parte que si

colocamos el dispositivo de forma incorrecta no se podrá realizar el ejercicio, lo controlamos de la siguiente manera:

- `Input.deviceOrientation != DeviceOrientation.LandscapeLeft`  
Esto es indicativo de ejercicio incorrectamente colocado, no podremos empezar el ejercicio. Un panel y un elemento sonoro nos advertirán de ello.
- `Input.deviceOrientation == DeviceOrientation.LandscapeLeft`  
Si la orientación es correcta, el ejercicio podrá comenzar: se activa el script Persona para que el objeto empiece a rotar, ponemos imágenes informativas del ejercicio a hacer y se inicializa el marcador de repeticiones. Si lo hemos seleccionado, se muestra el panel opcional de datos.

En el resto del método se administran diferentes botones y paneles, de forma similar al apartado anterior.

Un segundo método se encarga de detectar las posiciones completadas en la realización del ejercicio. La comprobación se hace sobre el Transform del objeto que rota en la escena. En el caso de este ejercicio, las posiciones son 45° derecha y 45° izquierda en el eje z. Por ejemplo, para detectar la primera posición, tenemos:

```
if (persona.rotation.eulerAngles.z >= 42f &&
 persona.rotation.eulerAngles.z <= 48f)
{
 posicion = 1;
}
```

Se usa un margen de error de  $\pm 3^\circ$  para asegurar la detección de la posición. En la práctica, después de las muchas pruebas realizadas, el ángulo detectado suele caer entre 44°-46°, con lo cual el error no es muy grande. El margen de  $\pm 3^\circ$  se elige mediante la típica técnica de prueba y error.

Un tercer método se encarga de controlar la realización del ejercicio. Mediante una estructura 'if... else if... else...' se comprueba que se van completando las posiciones del ejercicio en el orden correcto, todo ello con la ayuda de elementos visuales y sonoros, como por ejemplo un pitido cada vez que se completa una posición: `completado.Play();`. Cada vez que se completa una serie se actualiza el número de series completadas en el marcador de la escena. Se da el ejercicio por finalizado al llegar al número de repeticiones escogidas, con lo que: hacemos que el objeto deje de rotar (desactivamos su script), elementos visuales y sonoros de fin de ejercicio, envío de correo si hemos seleccionado la opción, y activación del panel final.

Un cuarto método se encarga del seguimiento de realización del ejercicio, es decir, de si nos alejamos del eje correcto. Para este ejercicio 1, se mira la desviación en los ejes 'x' e 'y'. Por ejemplo, para uno de los ejes:

```
if (rotacion >= 50f && rotacion <= 310f)
{
 error.volume = 1f;
 error.Play();
}
...
else if (rotacion >= 3f && rotacion <= 357f)
{
 error.volume = 0.1f;
 error.Play();
}
```



Como puede verse, a mayor desviación mayor volumen del componente AudioSource. Con este método, podemos ir corrigiendo el rumbo sobre la marcha y procurar que la rotación sea solo en el eje z, en este caso.

Un último método se encarga de la actualización del texto del panel datos de la aplicación, si la opción fue activada en el menú principal. Para saber esto último se recurre al valor de la variable global ‘datos’, de la cual ya hemos hablado.

Comentar que para el envío del correo se recurre a un método auxiliar para el que hemos tenido que crear una dirección de correo, de Gmail en este caso, de uso exclusivo para la aplicación. En la Figura 31 puede verse el tipo de correo que se recibe.



Figura 31. Correo informativo recibido de la aplicación.

## 4.5 Implementación de ejercicios personalizados

En este apartado se presenta la segunda forma de realizar ejercicios con la aplicación: recurrir a un ejercicio creado previamente por el propio usuario y almacenado en una base de datos.

### Crear ejercicio

La escena para crear un ejercicio, ver Figura 54 del ANEXO A, se caracteriza por su Canvas y por los cuatro objetos ‘Persona’, uno por cada tipo de ejercicio.

En el Canvas vamos a tener varios objetos UI, todos ellos incluidos en seis paneles:

- Un panel inicial: en el que elegimos el tipo de ejercicio a crear mediante un Dropdown, objeto UI que actúa como un desplegable con diversas opciones a escoger por el usuario (Unity, 2018f). También tenemos: un par de botones y paneles informativos; tres botones para empezar, guardar o salir del modo creación de ejercicio; y una serie de imágenes que informarán al usuario del correcto/incorrecto establecimiento del ejercicio.
- Un segundo panel: encargado del modo de creación del ejercicio, tenemos un par de botones y paneles informativos y dos botones para acceder a cada modo de creación (ver Figura 55 del ANEXO A).

- Un tercer y cuarto panel: con texto que indica como colocar el dispositivo móvil correctamente e información del modo de establecer el ejercicio. Los paneles se comportan como si fueran un botón al uso, se puede tocar en cualquier lugar de la pantalla para comenzar (ver Figuras 56 y 57 del ANEXO A).
- Un quinto y sexto panel: para establecer los ejercicios creados. De nuevo, los paneles se comportan como si fueran un botón, tocando en cualquier lugar de la pantalla se establece cada modo de creación. A continuación, explicaremos estos modos de creación.

Tenemos dos modos de crear un ejercicio:

- ‘Realizar ejercicio’: consiste en hacer el ejercicio que se desee y presionar en cualquier lugar de la pantalla para establecerlo. Solo se admiten ejercicios de un eje. Al tocar la pantalla, se establecerán los ángulos menor y mayor detectados y el eje utilizado.
- ‘Escoger ángulos’: consiste en hacer el ejercicio que se desee y presionar en cualquier lugar de la pantalla para establecer el ángulo inicial y final del mismo. Solo se admiten ejercicios de un eje. Al tocar la pantalla por primera vez, se establece el primer ángulo de rotación. Al tocarla por segunda y última vez, se establece el segundo ángulo de rotación y el eje utilizado.

Una posible línea futura sería extender el modo de creación a los tres ejes, es decir, que se puedan crear ejercicios que impliquen a más de un eje. Por ejemplo, un ejercicio de brazo con un primer movimiento en el eje x y otro, posterior, en el eje z. Será comentado en las conclusiones.

Se usarán elementos sonoros indicativos de ejercicio o ángulo establecido.

El cuanto a los objetos ‘Persona’, tendremos cuatro distintos: cabeza, cuerpo, brazos y piernas. Dependiendo del ejercicio a hacer, se activa uno u otro. Esto último facilita las operaciones en el script correspondiente, ya que cada objeto Persona tendrá su script de movimiento en el lugar adecuado para completar cada ejercicio. Además, hay que recordar que no todos los objetos ‘Persona’ son iguales, en los ejercicios de cabeza tenemos un objeto ‘Cuello’ que en los otros ejercicios no hay.

### **Script de la escena ‘Crear ejercicio’**

Script encargado de administrar lo que ocurre en la escena ‘Crear ejercicio’. Como ya se ha comentado, será un componente del objeto ‘GestionMenu’ de la escena.

En el método `start()` del script de la escena, tenemos el método `IdiomaIngles()` y una sentencia ‘if’ en la que, dependiendo del idioma de la aplicación, se escoge un Dropdown de elección de ejercicio en español u otro en inglés.

En el método `update()` se administra todo lo que ocurre en la escena. Tenemos, mediante una estructura ‘if... else if... else...’, la respuesta a lo que ocurre con cada objeto en cada uno de los seis paneles de la escena. Nos vamos a centrar en lo más relevante.

Al pulsar el botón ‘PLAY’ del primer panel, se activa el segundo panel con el modo de creación de ejercicio. También se establece el valor de la variable global del ejercicio, la que indica que tipo de ejercicio vamos a crear:

```
ejercicio = dropdownEjercicioEspañol.value;
```

El Dropdown devuelve un valor entero que indica el tipo de ejercicio.

Al pulsar en los botones correspondientes a los modos de creación (ver Figura 55 del ANEXO A), se accede a sendos paneles informativos (ver Figuras 56 y 57 del ANEXO A) y, a su vez, al tocar en cualquier lugar de la pantalla se pasa a crear los ejercicios. Para ello, se activa el panel de creación correspondiente, se desactivan todos los demás paneles, se activa el objeto 'Persona' adecuado para el tipo de ejercicio y se comprueba la correcta orientación del dispositivo. Este último paso es fundamental, ya que si la orientación no es correcta se da el ejercicio por no establecido:

```
if (((Input.deviceOrientation != DeviceOrientation.LandscapeLeft) &&
((ejercicio == 0) || (ejercicio == 1))) || ((Input.deviceOrientation
!= DeviceOrientation.Portrait) && ((ejercicio == 2) || (ejercicio ==
3) || (ejercicio == 4) || (ejercicio == 5)))) {...}
```

Los ejercicios 0 y 1 son de cabeza y cuerpo, por tanto la orientación del dispositivo tiene que ser horizontal; y los ejercicios 2 a 5 son de brazos y piernas, con orientación vertical (ver Figura 61 del ANEXO A). Si se cumple esta sentencia 'if', el ejercicio no podrá ser creado. En este punto, destacar que se desactiva el objeto 'Persona' correspondiente después de ponerlo en su estado original. Por ejemplo, para el caso de los brazos:

```
brazos.transform.Find("BrazoDerGiro").rotation = Quaternion.Euler(0,
0, 0);
brazos.transform.Find("BrazoIzqGiro").rotation = Quaternion.Euler(0,
0, 0);
```

Si la orientación es correcta, se empieza a crear el ejercicio. Lo primero es hacer que el objeto 'Persona' empiece a rotar activando su script. Para la obtención de la rotación en cada momento se utiliza ToAngleAxis (out float angle, out Vector3 axis). Por tanto, tendremos en el código:

```
transformElejido.rotation.ToAngleAxis(out angle, out axis);
```

Con esto se extrae el ángulo en grados y el eje de rotación del Transform de un objeto.

Para la obtención del eje de giro en un momento dado, se usan contadores que van sumando los valores absolutos de rotación de cada uno de los ejes, por ejemplo para el eje x: `rotacionX += Math.Abs(axis.x);`. Estos tres contadores se pasan a un método que compara los tres valores y devuelve el eje actual, que será aquel con un mayor ratio de rotación.

A partir de aquí, la forma y el momento de establecer los ángulos y eje de rotación es distinta según el modo de creación.

Para el modo 'Realizar ejercicio', se utiliza un método que va recalculando, una y otra vez, los ángulos menor y mayor del ejercicio, además de establecer cuál fue el primero de ellos. Para ilustrar esto, se puede ver un pequeño extracto del método en la Figura 32.

```
541 switch (ejercicio)
542 {
543 case 0:
544 case 1:
545 //Para los ejercicios de pecho y cabeza
546 switch (ejeActual)
547 {
548 case "X":
549 if ((angle > anguloXmayor) && (axis.x < -0.8f))
550 {
551 anguloXmayor = angle;
552 if (!anguloEstablecidoX)
553 {
554 primerAnguloX = "mayor";
555 anguloEstablecidoX = true;
556 }
557 }
558 }
559 }
```

Figura 32. Método para detectar ángulos en el modo 'Realizar ejercicio'.

Como puede verse en la Figura 32 para el caso del ángulo mayor del eje 'x', dependiendo del tipo de ejercicio y del eje, cada vez que haya un ángulo que supere al actual mayor, pasará a ocupar su lugar. Con la secuencia 'if' se establece si el primer ángulo fue el mayor.

En este primer modo, al tocar en la pantalla se dará el ejercicio por creado y quedarán establecidos el eje y los ángulos menor y mayor que ocupen su posición en ese momento. Un método ordenará los ángulos de mayor a menor o viceversa.

En el modo 'Escoger ángulos', a diferencia del caso anterior, se utiliza un método que solo es llamado al tocar la pantalla y que devuelve el ángulo de rotación exacto en este momento. En la Figura 33 tenemos un pequeño extracto del método utilizado.

```
685 switch (ejercicio)
686 {
687 case 0:
688 case 1:
689 //Para los ejercicios de pecho y cabeza
690 switch (ejeActual)
691 {
692 case "X":
693 if (axis.x < -0.8f)
694 {
695 return (int)angle;
696 }
697 else if (axis.x > 0.8f)
698 {
699 return -(int)angle;
700 }
701 else
702 {
703 return 0;
704 }
```

Figura 33. Método para detectar ángulos en el modo 'Escoger ángulos'.

Como puede verse en la Figura 33 para el caso del eje 'x', dependiendo del tipo de ejercicio y del eje, se devuelve el valor del ángulo actual, que puede ser positivo o negativo.

En este segundo modo, como ya se ha comentado, con el primer toque en la pantalla se establece el primer ángulo y con el segundo y último se establece el segundo ángulo y el eje utilizado.

Después de establecer los ángulos y el eje de rotación del ejercicio, en cualquiera de los dos modos, se vuelve al panel inicial. Presionando en el botón 'GUARDAR EJERCICIO' quedará almacenado el ejercicio en la base de datos de la aplicación.

### Escoger ejercicio

La escena para escoger un ejercicio previamente creado, ver Figura 59 del ANEXO A, se caracteriza por su Canvas. Vamos a tener varios objetos UI:

- Un panel: con un texto, un botón y su panel informativo, y un Dropdown en el que vamos a escoger uno de los ejercicios almacenados.
- Un Toggle para determinar si queremos enviar un correo. En caso de estar activo, aparece un panel con dos Input Field para indicar nuestro nombre y la dirección a la que enviar el correo informativo.

- Cuatro botones: uno para salir y volver al menú principal, y los otros tres para realizar, actualizar y eliminar el ejercicio seleccionado en el Dropdown.
- Un panel para actualizar el ejercicio seleccionado en el Dropdown. Mediante el uso de varios Dropdown, Input Field, textos, botones y paneles informativos, se puede actualizar hasta cinco parámetros de los ejercicios: tipo de ejercicio, eje, ángulo 1º, ángulo 2º y fecha.

### Script de la escena ‘Escoger ejercicio’

Script encargado de administrar lo que ocurre en la escena ‘Escoger ejercicio’. Como siempre en nuestra aplicación, será un componente del objeto ‘GestionMenu’.

De entre las diferentes referencias, destacar las variables globales del ejercicio escogido:

```
public static int ejercicio;
public static int[] angulosGiro = new int[] { 0, 0 };
public static string eje = "X";
```

Los valores de estas variables se obtienen de la base de datos en el método correspondiente.

En el método `Start()` del script de la escena, aparte del método `IdiomaIngles()`, tenemos:

- Dos sentencias ‘if’ en las que, dependiendo del idioma de la aplicación, se escogen unos objetos Dropdown u otros.

- ```
toggleCorreo.onValueChanged.AddListener(delegate {
    OnToggleValueChanged(); });
dropdownParametro.onValueChanged.AddListener(delegate {
    DropdownDeParametrosValueChanged(); });
```

Agregan un listener al toggle principal que invoca un método cuando cambia el valor.

El método `OnToggleValueChanged()` lo que hará es mostrar un panel con los Input Field para introducir nombre y correo.

El método `DropdownDeParametrosValueChanged()` mostrará unas opciones u otras relativas a la actualización de algún parámetro de un ejercicio, es decir, se activarán los objetos correspondientes a la opción escogida.

- Un método para rellenar el objeto UI Dropdown con los ejercicios disponibles en la base de datos de la aplicación. Será comentado en el subapartado relativo a la base de datos.
- Un método auxiliar que detecta si ya han sido introducidos el nombre/correo con anterioridad, evita tener que volver a escribirlos.

En el método `Update()` se controla el comportamiento de los diferentes objetos UI de la escena. Se usa una estructura ‘if... else if... else...’ que abarca todos los objetos disponibles, semejante al menú principal. Al igual que ocurre en el menú de ejercicios predefinidos, si tenemos activado el toggle y no hemos rellenado los campos de los Input Field, al presionar el botón de ‘REALIZAR EJERCICIO’ no se podrá acceder al mismo.

Los botones ‘ELIMINAR’ y ‘MODIFICAR’ llevan a métodos que actúan sobre la base de datos. Al presionar en ‘REALIZAR EJERCICIO’, se recurre a un método para obtener, de la base de datos de la aplicación, los valores de los parámetros de un ejercicio en concreto. Si todo ha ido bien, se carga la escena del ejercicio libre.

Todo lo relativo a la base de datos será tratado en el subapartado ‘Diseño de la base de datos’.

Ejercicio libre

La escena para realizar un ejercicio previamente creado, llamado ejercicio libre, es prácticamente idéntica a cualquiera de las 10 escenas de los ejercicios predefinidos. Tenemos unos pequeños cambios en el objeto Canvas y se añaden más objetos Persona.

Se añade al primer panel inicial del Canvas un texto informativo del ejercicio a realizar, una imagen de los ejes del ejercicio y tendremos todas las imágenes informativas de como colocar el móvil de forma correcta para hacer el ejercicio (ver Figura 61 del ANEXO A). Mediante código, se mostrará la imagen informativa correspondiente a cada ejercicio.

En cuanto a los objetos ‘Persona’, tendremos cuatro distintos: cabeza, cuerpo, brazos y piernas. Dependiendo del ejercicio a hacer, se activa uno u otro. La explicación de esta elección es idéntica a la ya hecha en la escena ‘Crear ejercicio’.

Script de la escena ‘Ejercicio libre’

Script encargado de administrar lo que ocurre en la escena ‘Ejercicio libre’. Será un componente del objeto ‘GestionMenu’. Vamos a resaltar lo más relevante.

En el método `start()` del script de la escena, aparte del método `IdiomaIngles()`, tenemos:

- Un método que activa uno de los cuatro objetos ‘Persona’ disponibles en la escena, dependerá del tipo de ejercicio a hacer.
- Un método que establece el Transform que se usará en la escena, de nuevo dependerá del tipo de ejercicio a hacer.
- Un método para adaptar los ángulos de giro según el tipo de ejercicio y de eje de giro, adaptación necesaria para luego detectar la posición de rotación en el eje que corresponda.

Vamos a explicar con un poco más de detalle este último método que es vital para poder completar el ejercicio. En la base de datos de la aplicación, los ángulos de rotación están almacenados según la posición que ocupan en su eje, es decir, en valores positivos o negativos según el lado del eje en que fueron establecidos: $-180^{\circ}/0^{\circ}/180^{\circ}$. En cambio, las lecturas que se hacen en el Transform, del objeto ‘Persona’ correspondiente que está en rotación, dan valores de 0° a 360° . Por esta razón, es necesario un método que lleve a cabo esta conversión. Por ejemplo, para el caso de ejercicios de pecho y cabeza se utiliza el código que se ve en las figuras siguientes.

```
float AnguloPositivoNegativo1(int angulo)
{
    if (angulo >= 0)
    {
        return 360f - (float)angulo;
    }
    else
    {
        return (float)Mathf.Abs(angulo);
    }
}
```

```
float AnguloPositivoNegativo2(int angulo)
{
    if (angulo >= 0)
    {
        return (float)angulo;
    }
    else
    {
        return 360f - (float)Mathf.Abs(angulo);
    }
}
```

Figuras 34 y 35. Métodos complementarios 1 y 2 para la conversión de ángulos.

El método de la Figura 34 se utiliza en el eje 'x', en el que tenemos ángulos positivos entre 180°-360° y negativos entre 0°-180°. Para los otros dos ejes se usa el método de la Figura 35, con ángulos positivos entre 0°-180° y negativos entre 180°-360°.

En caso de ejercicios de brazos y piernas el camino es el mismo, pero teniendo en cuenta que la orientación del dispositivo cambia y por tanto los ejes 'x' e 'y' estarán invertidos. Aquí surge un problema con el comportamiento del eje 'x': en las lecturas de rotación se observa como al llegar a 90° decrece de nuevo hacia 0°, es decir, en vez de ir de '0° a 180°' va de '0° a 90° a 0°'. Esto genera dificultades en la detección de ejercicios de brazos, para el resto de ejercicios es más difícil hacer rotaciones de más de 90°. Para solucionar el problema en este eje se recurre a un tercer método complementario (ver Figura 36).

```
float AnguloPositivoNegativo3(int angulo)
{
    if (angulo >= 0)
    {
        return (float)(angulo - ((angulo - 90) * 2));
    }
    else
    {
        return (float)((360 - Mathf.Abs(angulo)) + ((270 - (360 - Mathf.Abs(angulo))) * 2));
    }
}
```

Figura 36. Método complementario 3 para la conversión de ángulos.

El método de la Figura 36 permite convertir un ángulo de 95°, por ejemplo, en otro de 85° en el eje 'x'. Con este nuevo ángulo, primero se detectará que se rebasan los 90° y luego, al decrecer, la posición completada en 85°.

En el método `Update()` se administra lo que ocurre en la escena. Tenemos un primer método para dar respuesta a los submenús iniciales y el final, cuya función es ir activando/desactivando los paneles de la escena. Esta parte del código es similar a lo ya comentado en el script del Ejercicio 1.

Un segundo método se encarga de detectar las posiciones completadas en la realización del ejercicio. La comprobación se hace sobre el Transform del objeto que rota en la escena. En este caso, al contrario de lo que ocurre en los ejercicios predefinidos, los límites que determinan una posición completada se calculan en base a los propios ángulos de rotación. Por ejemplo, para detectar la primera posición, tenemos:

```
if ((transformElejido.rotation.eulerAngles.z >=
(angulosGiroAdaptados[0] - 3f)) &&
(transformElejido.rotation.eulerAngles.z <=
(angulosGiroAdaptados[0] + 3f))
{
    posicion = 1;
}
```

Se usa el mismo margen de error para asegurar la detección de la posición. En el caso especial del eje 'x' en ejercicios de brazos y piernas, se adapta la secuencia 'if... else if...' para detectar primero que se rebasan los 90° y luego ya la posición completada. Decir que en la mayoría de los casos esta solución no genera problemas, pero una posible línea futura sería generar un algoritmo alternativo que garantice una mejor detección en este caso especial.

El tercer y cuarto método, encargados del control y seguimiento de realización del ejercicio, son casi idénticos a los ya comentados para un ejercicio predefinido. Lo mismo ocurre con el último método, encargado de la actualización del texto del panel datos de la aplicación, si la opción fue activada en el menú principal.

4.5.1 Diseño de la base de datos

La aplicación dispone de una base de datos, generada mediante DB Browser for SQLite, en la que se van a almacenar los diferentes ejercicios creados por el usuario. Su documentación (DB Browser for SQLite, s.f.) recoge que se trata de “una herramienta de código abierto, visual y de alta calidad para crear, diseñar y editar archivos de bases de datos compatibles con SQLite”.

Abrimos el programa (ver Figura 37) y vamos a ‘Nueva base de datos’. Nos aparece una ventana en la que daremos nombre a la base de datos y escogeremos su ubicación. En nuestro proyecto de Unity, va a estar en una carpeta llamada ‘StreamingAssets’ dentro de la carpeta principal Assets (ver Figura 22). Esta ubicación es importante ya que será utilizada, en el código, para abrir una conexión a la base de datos.

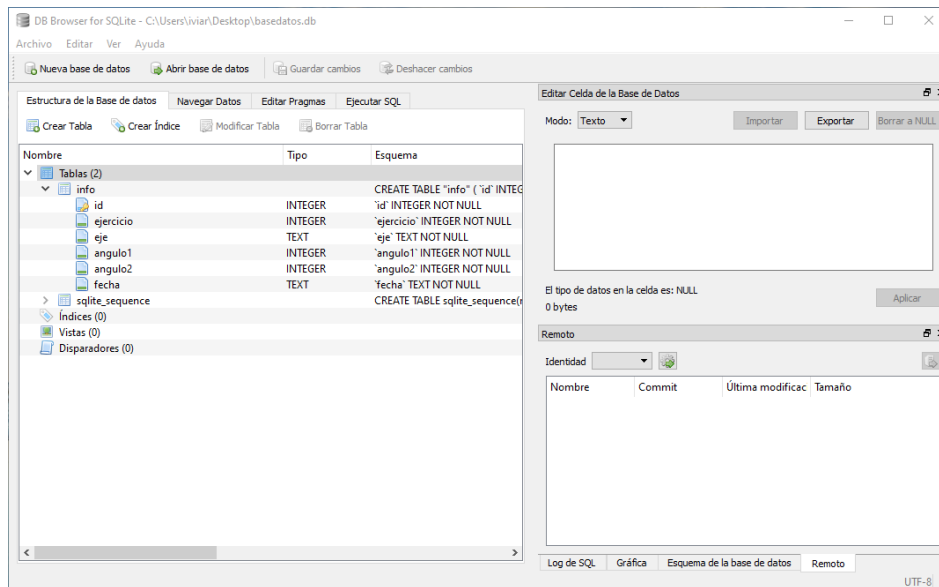


Figura 37. Generar la base de datos de la aplicación.

Lo siguiente que nos aparecerá es una tabla en la que incluiremos todos los campos que necesitemos, cada uno de los cuales con sus características/opciones.

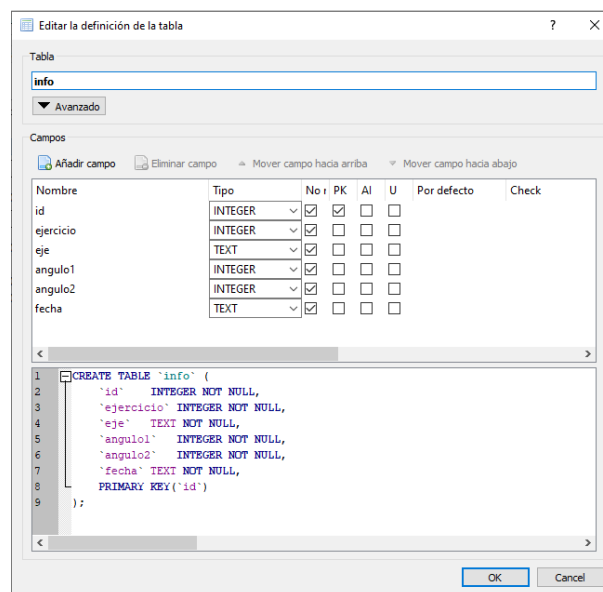


Figura 38. Editar la tabla de la base de datos de la aplicación.

En la Figura 38 puede verse la tabla y cada uno de los campos de la base de datos de nuestra aplicación. Tenemos:

- ‘id’: valor INTEGER que servirá para identificar cada ejercicio. Tiene asignada la opción PK (PRIMARY KEY), lo que le convierte en el identificador de cada uno de los registros. Se trata de un valor único y se irá incrementando con cada nuevo registro, sin la necesidad de asignarle ninguna otra opción de las disponibles (SQLite, s.f.).
- ‘ejercicio’: valor INTEGER que recoge el tipo de ejercicio.
- ‘eje’: valor TEXT que recoge el eje del ejercicio.
- ‘angulo1’: valor INTEGER que recoge el ángulo 1º de rotación del ejercicio.
- ‘angulo2’: valor INTEGER que recoge el ángulo 2º de rotación del ejercicio.
- ‘fecha’: valor TEXT que recoge la fecha de creación del ejercicio.

Una vez creada la tabla nos aparecerá en la estructura de la base de datos, como puede verse en la Figura 37. También se crea una tabla vacía, llamada ‘sqlite_sequence’, de uso interno (SQLite, s.f.).

En el menú ‘Navegar Datos’ de la tabla se puede ver el contenido de la tabla y modificarlo, como puede verse en la Figura 39.

Tabla: info

	id	ejercicio	eje	angulo1	angulo2	fecha
	Filtro	Filtro	Filtro	Filtro	Filtro	Filtro
1	2	0	X	-60	33	03/Aug/2018
2	3	0	Z	-22	42	03/Aug/2018
3	4	0	Y	43	-77	03/Aug/2018
4	6	1	Y	-25	62	03/Aug/2018
5	7	2	X	28	-75	03/Aug/2018
6	8	3	Z	38	-62	03/Aug/2018
7	9	2	X	-80	27	04/Aug/2018
8	10	3	Z	20	-29	04/Aug/2018
9	13	4	Z	-27	34	07/Jul/2021
10	14	5	X	30	-60	07/Jul/2021

Figura 39. Contenido de la tabla de la base de datos de la aplicación.

Una vez visto como crear la base de datos y almacenarla en la carpeta del proyecto correspondiente, vamos a presentar los diferentes métodos utilizados en los scripts de las escenas para interactuar con ella.

Tenemos un primer método, ubicado en el script de métodos auxiliares, encargado de abrir la conexión a la base de datos de la aplicación. Por ejemplo, para el caso del editor de Unity:

```
#if UNITY_EDITOR
    //Path a la base de datos
    string conexion = "URI=file:" + Application.dataPath +
        "/StreamingAssets/basedatos.db";
...

```

```
#endif
    //Abrir la conexión a la base de datos
    IDbConnection conexionBD = new SqlConnection(conexion);
    conexionBD.Open();

    return conexionBD;
```

En este extracto del método vemos como se abre la conexión, importante especificar correctamente la ubicación de la base de datos, y se devuelve una variable que da acceso a la base de datos y que será utilizada por otros métodos.

En las escenas ‘Crear ejercicio’ y ‘Escoger ejercicio’ se utilizan una serie de métodos que actúan sobre la base de datos: unos la modifican y otros la leen. Lo primero en cada método es abrir la conexión a la base de datos, utilizando el método auxiliar anterior, y lo segundo crear el comando SQL que será aplicado a dicha base de datos, esto último lo podemos ver en las figuras siguientes (ver Figuras 40 y 41). En “...” irá la consulta SQL.

```
IDbCommand comandoBD = conexionBD.CreateCommand();
string consultaSQL = "...";
comandoBD.CommandText = consultaSQL;
comandoBD.ExecuteNonQuery();

IDbCommand comandoBD = conexionBD.CreateCommand();
string consultaSQL = "...";
comandoBD.CommandText = consultaSQL;
IDataReader lector = comandoBD.ExecuteReader();
```

Figuras 40 y 41. Código para modificar (izquierda) o leer (derecha) la base de datos.

La funcionalidad de los métodos que van a modificar la base de datos es: insertar, eliminar y actualizar.

Para insertar un ejercicio en la base de datos usamos:

```
"INSERT INTO info (ejercicio, eje, angulo1, angulo2, fecha) VALUES ('"
+ ejercicio + "', '" + eje + "', '" + angulosGiro[0] + "', '" +
angulosGiro[1] + "', '" + DateTime.Now.ToString("dd/MMM/yyyy") + "')
```

Para eliminar un ejercicio de la base de datos usamos:

```
"DELETE FROM info WHERE id = " + idEjercicio
```

Este ‘idEjercicio’ se obtiene de una lista de identificadores de ejercicio generada en un método que comentaremos más adelante.

Para actualizar un ejercicio de la base de datos usamos tres métodos distintos, dependiendo de si el parámetro a actualizar es un entero, una cadena o la fecha de creación. Por ejemplo, para un entero usamos:

```
"UPDATE info SET '" + Parametro(columna) + "' = '" + valor + "' WHERE
id = " + idEjercicio
```

El método Parametro() devuelve una cadena de texto con el parámetro a actualizar. Mismo comentario para ‘idEjercicio’ que en el método anterior.

Y, por último, tenemos dos métodos que van a leer la base de datos.

El primero se encarga de cargar en un objeto UI Dropdown, de la escena ‘Escoger ejercicio’, los ejercicios disponibles en la base de datos de la aplicación. El comando usado es: "SELECT * FROM info". Se usa una sentencia ‘while’ para rellenar dos listas con los datos de la base de datos:

```
while (lector.Read())
{
    idEjercicios.Add(lector.GetInt32(0));

    dropdownOpciones.Add(TipoEjercicio(lector.GetInt32(1)) + ": eje "
+ lector.GetString(2) + " de " + lector.GetInt32(3) + " a " +
lector.GetInt32(4) + " grados (" + lector.GetString(5) + ")); }
```

En la primera lista se añade el identificador de cada ejercicio, ya hemos comentado su uso, y en la segunda una cadena de texto con la información de cada ejercicio. Por último, se añade esta última lista al objeto Dropdown.

Con el segundo método se obtienen los valores de los parámetros de un ejercicio en concreto. Este método es llamado al pulsar el botón 'REALIZAR EJERCICIO' de la escena 'Escoger ejercicio'. El comando usado es:

```
"SELECT * FROM info WHERE id = " + idEjercicio
```

Se usa una sentencia 'while' para leer y establecer los valores:

```
while (lector.Read())
{
    ejercicio = lector.GetInt32(1);
    eje = lector.GetString(2);
    angulosGiro[0] = lector.GetInt32(3);
    angulosGiro[1] = lector.GetInt32(4);
}
```

Recordar que estas variables son las variables globales del ejercicio escogido.

5 Pruebas y resultados

En este quinto capítulo se diseñan y analizan las pruebas realizadas sobre la aplicación objeto de este TFG. Se empieza comentando el diseño del test de usabilidad y su aspecto final, y se analizan los resultados obtenidos en las diferentes pruebas realizadas. Se finaliza con una comparativa de nuestra aplicación con algunas aplicaciones comerciales móviles para realizar ejercicio físico y rehabilitación.

5.1 Diseño de test de usabilidad

Después de haber completado la implementación de la aplicación móvil, llega el momento de probarla con un determinado número de sujetos. La forma de obtener resultados de estas pruebas es recurrir a los test de usabilidad.

La norma ISO 9241-11: 2018 define la usabilidad como una “medida en la que usuarios específicos pueden utilizar un sistema, producto o servicio para lograr objetivos específicos con eficacia, eficiencia y satisfacción en un contexto de uso específico” (Internacional Organization for Standardization [ISO], 2018). En el trabajo de Enriquez y Casas (2014) se hace un estudio de como evaluar la usabilidad en aplicaciones móviles. Se indica la importancia del contexto para obtener una medida aceptable y se presentan varias vías de acción: conectividad, tamaño de las pantallas, diferentes resoluciones de pantalla, tipo de entrada de datos, etc. Los autores comentan algunos modelos de usabilidad existentes y remarcan la dificultad de conseguir establecer una metodología estándar de evaluación.

En nuestro caso, el test de usabilidad consistirá en:

- Probar cada una de las funcionalidades de la aplicación móvil ‘La app de la recuperación’. Las pruebas se harán con un smartphone modelo Huawei Ascend G630-U20, el utilizado para desarrollar la aplicación. Con esto evitamos problemas con la resolución de pantalla de ciertos dispositivos móviles modernos, aunque perdemos información de usabilidad.
- Rellenar un formulario de usabilidad con la experiencia al probar la aplicación móvil.

Para crear este formulario de usabilidad vamos a recurrir a Google Forms. Se trata de una herramienta de Google para la creación de formularios, encuestas, exámenes de tipo test, todo tipo de sondeos, recopilación de datos, etc. Permite añadir un estilo y un tema concretos y dispone de varias opciones para preguntar, como preguntas de tipo test, desplegadas, cuadrículas de varias opciones o de varias casillas, respuestas sobre la hora o fecha, etc. Se pueden enviar los formularios por correo y responder en cualquier dispositivo. Permite analizar los resultados por medio de hojas de cálculo o gráficos, entre otros (Google LLC, s.f.).

Las primeras secciones del formulario están destinadas a encasillar a los sujetos según su edad y sus habilidades en el uso de aplicaciones móviles. Se pide información sobre: franja de edad, disponer de un teléfono inteligente, manejo del teléfono inteligente, uso de aplicaciones móviles de salud y uso de aplicaciones móviles de rehabilitación.

En las siguientes tres secciones se analizan las diferentes funcionalidades y características de la aplicación. Se podrá calificar cada una de ellas con cinco opciones,

que van desde ‘Muy en desacuerdo’ hasta ‘Totalmente de acuerdo’. Se tratará la aplicación en general y su interfaz de usuario, los modos de creación de ejercicios, la realización de un ejercicio predefinido y la realización de los ejercicios personificados/creados.

Y, por último, tenemos unas secciones en las que se pregunta sobre la utilidad de la aplicación en rehabilitación de trastornos musculoesqueléticos y si recomendaría la aplicación, se pide puntuarla e indicar qué mejorarías de la aplicación. Esta última sección es la única que no está marcada como de respuesta obligatoria.

En el ANEXO B se puede ver una copia con el resultado final de nuestro formulario de usabilidad.

5.2 Pruebas con diferentes sujetos, resultados y discusión

Como ya se ha indicado anteriormente, después de cada prueba completada se rellenará un formulario web. Vamos a detallar como ha sido el desarrollo de las diferentes pruebas y los resultados obtenidos.

El número total de pruebas realizadas con diferentes sujetos asciende a 14. Se trata de una cantidad no muy alta, pero que está condicionada por el requisito de hacer las pruebas con el smartphone utilizado en el desarrollo la aplicación, por la razón comentada en el apartado anterior. La decisión de no usar el smartphone propio de cada sujeto en las pruebas también se apoya en la probable posibilidad de que estos no dispongan de medios de sujeción al cuerpo adaptados a su dispositivo móvil, como los brazaletes comentados en la introducción.

Durante las pruebas, hemos podido observar dos aspectos sobre los cuales los sujetos presentaban un mayor número de dudas:

- Sistema de ejes de la aplicación: en los ejercicios predefinidos el uso de expresiones como ‘derecha e izquierda’ o ‘adelante y atrás’ son muy intuitivas de lo que hay que hacer. En cambio, en los ejercicios personificados se habla de rotaciones en un eje u otro y se muestra la imagen con el sistema de ejes. A varios sujetos fue necesario explicarles en que consiste un sistema de ejes y como rotar en cada uno de ellos para poder completar el ejercicio correspondiente. Misma situación al crear un ejercicio.
- Modo ‘Realizar ejercicio’: aquí la duda era como se obtenía el ejercicio, es decir, cuáles eran los ángulos de rotación que quedaban asignados.

Con el resto de las funcionalidades, en la mayor parte de los casos, no hubo mayores problemas.

Tras rellenar el formulario web después de cada prueba, la respuesta queda almacenada en Google Forms. Vamos a recurrir a las respuestas obtenidas para presentar los resultados de los test de usabilidad de la aplicación.

En cuanto a las primeras cuestiones ‘técnicas’, relativas a la edad y habilidades del sujeto en el uso de aplicaciones móviles, tenemos que el rango de edad principal de los sujetos es de 21-35 años, seguido de 51-65 años y de 36-50 años (ver Figura 42). Este dato es, simplemente, un valor estadístico.

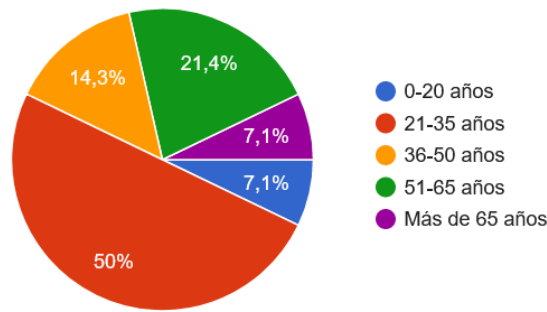


Figura 42. Gráfico sobre el rango de edad de los sujetos.

Todos los sujetos disponen de un smartphone y la mayoría afirma que se maneja bien o muy bien en su uso. Un 78,6% de los sujetos ha usado alguna vez una aplicación móvil del campo de la salud (ver gráfico izquierdo de la Figura 43) pero, en cambio, ninguno ha utilizado una aplicación móvil para rehabilitación (ver gráfico derecho de la Figura 43). Este último dato es relevante en el marco de trabajo de este TFG y será comentado en el último capítulo.

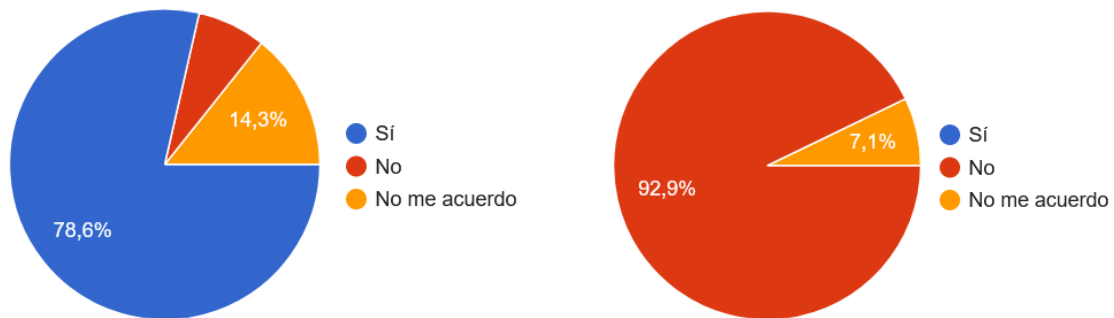


Figura 43. Uso de aplicaciones de salud (gráfico izquierdo) y uso de aplicaciones de rehabilitación (gráfico derecho).

Las siguientes cuestiones analizan las diferentes funcionalidades y características de la aplicación y como el sujeto se ha manejado en su uso. En la Figura 44 tenemos el gráfico obtenido sobre la aplicación en general y su interfaz de usuario.

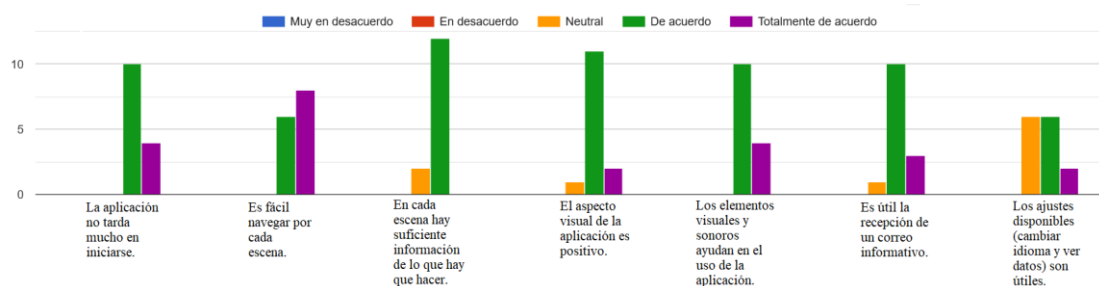


Figura 44. Gráfico sobre la aplicación y su interfaz de usuario.

Como vemos en la Figura 44, la mayoría de los sujetos se muestra de acuerdo con las características analizadas. Destaca por lo alto la facilidad de navegar por cada escena, siendo la característica mejor valorada. Por otro lado, tenemos que algunos sujetos consideran que falta información en las escenas y dudan de la utilidad de los ajustes disponibles. En este último caso, la razón de esta opinión reside en el panel opcional de datos, ya que la mayoría no entiende información como, por ejemplo, la relativa a la rotación en cuaterniones, como se pudo observar durante las pruebas.

Sobre la funcionalidad de crear ejercicios y sus modos de creación disponibles tenemos el gráfico de la siguiente Figura 45.

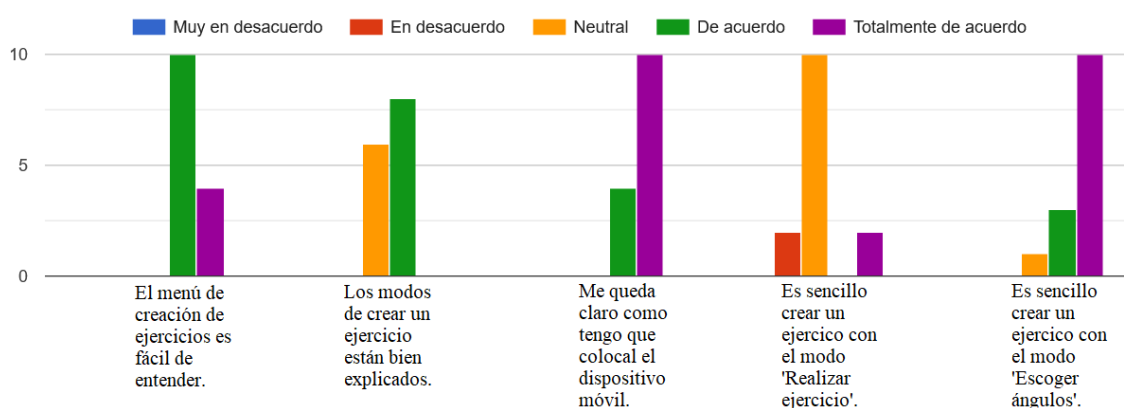


Figura 45. Gráfico sobre la creación de ejercicios.

Como vemos en la Figura 45, el menú de la opción es fácil de entender y una mayoría de sujetos no ha tenido ningún problema con la colocación del dispositivo móvil. En cuanto a los modos de creación, vemos en las respuestas y vimos en las pruebas que el modo 'Escoger ángulos' es mucho más fácil de entender y ejecutar que el modo 'Realizar ejercicio', quizá por falta de información precisa de este último en la aplicación.

Sobre la realización de un ejercicio predefinido, de entre los 10 disponibles, tenemos el gráfico de la siguiente Figura 46.

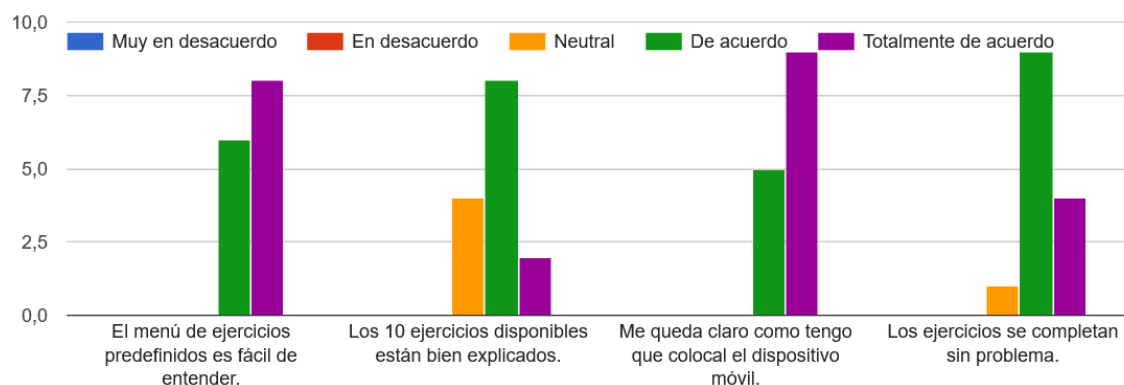


Figura 46. Gráfico sobre la realización de ejercicios predefinidos.

Se puede ver en la Figura 46, como en el caso anterior, que tanto el menú de la opción como la colocación del dispositivo móvil no ofrecen mayores dudas. En cuanto a la explicación de los ejercicios disponibles, algunos sujetos dan una opinión neutral. Esto último es probable que se deba a que, como se vio en las pruebas, había dudas con los ejercicios de 'giro derecha-izquierda', algunos sujetos no sabían si el giro era en el eje 'y' o en el 'z'. Una mayoría se muestra de acuerdo en que los ejercicios se completan sin problema.

El análisis de la última funcionalidad de la aplicación lo tenemos en el gráfico de la Figura 47, en el que tenemos una serie de respuestas sobre la realización de ejercicios personalizados/creados por nosotros mismos y almacenados en la base de datos de la aplicación.

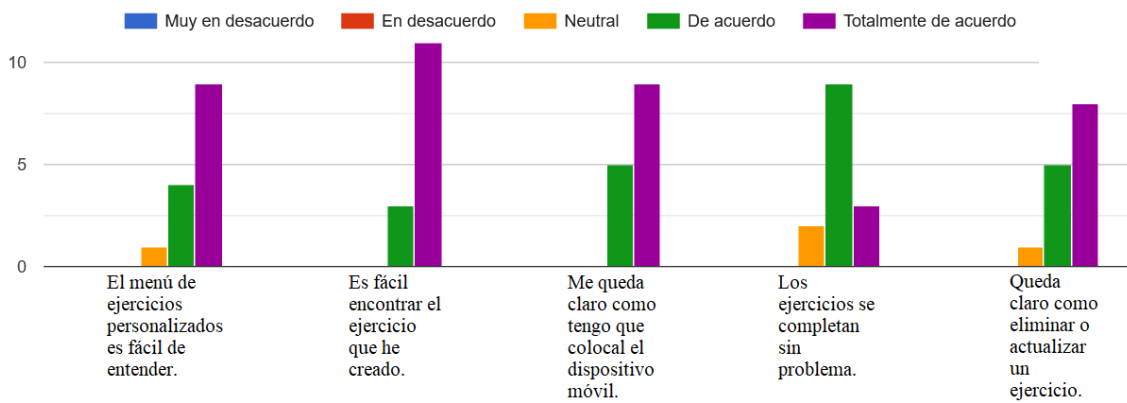


Figura 47. Gráfico sobre la realización de ejercicios personalizados/creados.

Como en los casos anteriores, vemos en la Figura 47 que tanto el menú de la opción como la colocación del dispositivo móvil no ofrecen mayores dudas, lo mismo sucede con la búsqueda del ejercicio creado en el menú desplegable. Una mayoría se muestra de acuerdo en que los ejercicios se completan sin problema, con datos algo peores que en el caso de ejercicios predefinidos. Esto último es probablemente debido a las dudas, ya comentadas, con el sistema de ejes de la aplicación. La acción de eliminar/actualizar un ejercicio se ejecuta sin problema.

Las últimas cuestiones nos ofrecen respuestas sobre la experiencia final de los sujetos. Un 57,1% afirma que la aplicación puede resultar útil en rehabilitación de trastornos musculoesqueléticos, frente al resto que no puede dar una opinión afirmativa o negativa (ver gráfico izquierdo de la Figura 48), y un 92,9% recomendaría la aplicación (ver gráfico derecho de la Figura 48).

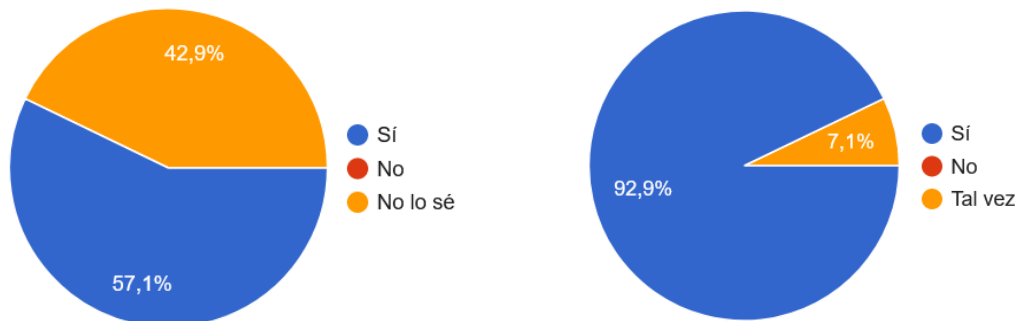


Figura 48. Utilidad de la aplicación (gráfico izquierdo) y posibilidad de recomendar la aplicación (gráfico derecho).

La aplicación obtiene una puntuación, en general, positiva. Podemos ver en la Figura 49 un gráfico con las notas obtenidas.

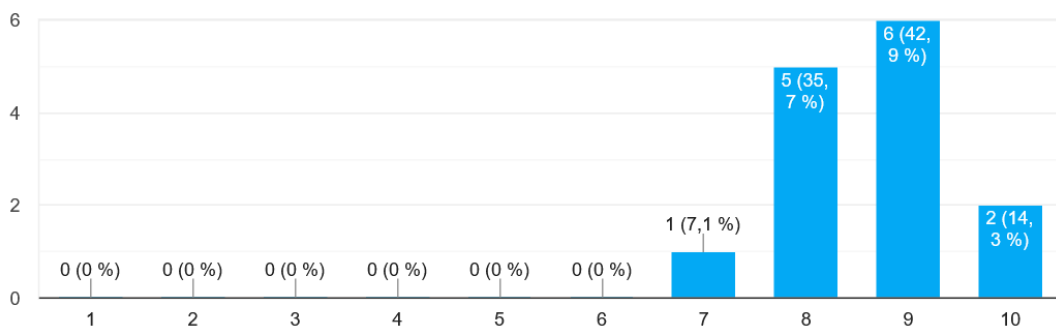


Figura 49. Gráfico con la puntuación obtenida por la aplicación.

Y, por último, tenemos las respuestas a la pregunta de qué mejorar de la aplicación. De las siete obtenidas, destacamos las más relevantes:

- “Añadiría más explicaciones a las escenas”.
- “Más explicaciones en lo de crear ejercicios y lo de los ejes, a la primera cuesta pillarlo”.
- “En ejercicios predefinidos no me queda claro que es girar”.
- “Utilizaría colores más vivos y un lenguaje menos técnico”.
- “No me queda claro lo del sistema de ejes, la imagen esa”.
- “Cambiaría los colores”.

Como vemos, las propuestas de mejora giran en torno a más explicaciones y a cambiar los colores utilizados en la aplicación. Y, de nuevo, se muestra alguna duda con el sistema de ejes.

Todos estos datos obtenidos, tanto en las observaciones durante las pruebas como en los resultados presentados, son muy útiles para aplicar en líneas futuras. Por ejemplo, se podría lanzar una versión nueva de la aplicación que incluyera alguna de las mejoras propuestas. De todo ello hablaremos en el capítulo 6.

5.3 Diferencias con otras aplicaciones ya existentes y discusión

Vamos a hacer una comparativa entre nuestra aplicación y otras aplicaciones móviles ya existentes, más concretamente las analizadas en el apartado ‘3.2’. Empleando una tabla, indicaremos que característica tiene cada aplicación para, posteriormente, pasar a discutir las principales diferencias encontradas.

En cada una de las filas de la tabla se analizará una característica y tendremos diez columnas en total, una por cada aplicación a comparar. Usaremos el símbolo de afirmación ✓ en cada aplicación que tenga la característica correspondiente.

Cada aplicación va a ser representada por un número, así que tendremos:

- **1:** Nuestra aplicación
- **2:** Google Fit: Reg. de actividad
- **3:** ReHand, Rehabilitación de la Mano vía Tablet
- **4:** Podómetro gratis - Contador y Seguimiento de Pasos
- **5:** Ejercicios de dolor de espalda
- **6:** Ejercicios para los ojos
- **7:** Sportractive: Correr y Caminar
- **8:** LCA
- **9:** Fisioterapia a tu alcance
- **10:** adidas Training - Entrenamiento Fitness & HIIT

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Uso exclusivo en rehabilitación	✓		✓		✓	✓		✓	✓	
Uso de sensores internos	✓	✓		✓			✓			
Usa el giroscopio	✓									
Usa el acelerómetro		✓								
Usa el sensor GPS		✓					✓			
Usa la cámara		✓								
Tiene ejercicios	✓		✓		✓	✓		✓	✓	✓
Seguimiento al hacer ejercicios	✓	✓	✓	✓			✓			
Sonidos e/o imágenes para hacer ejercicios	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓		✓
Información de cada ejercicio	✓		✓		✓	✓		✓	✓	✓
Vídeo de cada ejercicio			✓		✓				✓	✓
Crear ejercicios	✓				✓					
Base de datos con ejercicios creados	✓				✓					
Mostrar datos informativos	✓	✓	✓	✓	✓		✓			✓
Recibir 'email' informativo	✓									
Cambio de idioma	✓	✓	✓		✓	✓				
Aplicación multiplataforma		✓	✓		✓			✓	✓	✓

Tabla 2. Comparativa de aplicaciones.

En la Tabla 2 tenemos la comparativa de nuestra aplicación (primera columna) con las otras nueve aplicaciones vistas en el apartado ‘3.2’.

Dos apreciaciones sobre las características empleadas en la Tabla 2: ‘Uso de sensores internos’ y los diferentes sensores son considerados características de una aplicación si son utilizados en los propios ejercicios, de la manera que sea, y no si son para obtener información de publicidad, anuncios personalizados, etc.; y la característica ‘Seguimiento al hacer ejercicios’ implica que la aplicación controla la realización del ejercicio.

La primera gran diferencia es el uso que se da a cada aplicación. Como vemos en la Tabla 2, tenemos aplicaciones utilizadas exclusivamente en rehabilitación y otras cuyo campo de acción es mucho más amplio, pero que también son muy útiles para tratar o monitorizar la multitud de trastornos existentes.

Una característica vital, mirando desde la perspectiva de nuestra aplicación, es el empleo de los sensores internos de nuestros dispositivos móviles y su influencia en la realización o control de diferentes tipos de ejercicios. Como vemos, tenemos solo cuatro aplicaciones que recurren a estos sensores; excluyendo, como ya comentamos anteriormente, las que los utilizan para fines ajenos como publicidad, etc. De entre los sensores utilizados, solo nuestra aplicación usa el giroscopio. Las otras tres aplicaciones se sirven de los datos del GPS, el acelerómetro u otros sensores para contar pasos, medir distancias, etc. Destacar el uso de la cámara integrada en la aplicación 2, mediante su sensor de imagen, para obtener datos sobre la frecuencia respiratoria o cardiaca.

El seguimiento al hacer ejercicios es llevado a cabo por cinco aplicaciones, incluida la nuestra. Se emplean diferentes medios para llevar a cabo este seguimiento: uso de los sensores internos, la cámara de los dispositivos o su pantalla táctil.

Estas dos últimas características, uso de sensores y seguimiento de ejercicios, establecen una de las diferencias más importantes que se pueden encontrar entre este tipo de aplicaciones, ya que nos permite dividir las en dos categorías: aplicaciones informativas que guían en la realización de ejercicios, y aplicaciones informativas que controlan la realización de ejercicios, esto último mediante los sensores internos, la cámara, etc.

De las aplicaciones comparadas en la Tabla 2, hasta siete proporcionan ejercicios a hacer por el usuario. Casi todas tienen una serie de imágenes y/o sonidos que ayudan a completar correctamente cada ejercicio. En siete de ellas se aporta información de los ejercicios a hacer, como en la nuestra, y, a mayores, hay cuatro que usan vídeos o animaciones informativas.

Una funcionalidad de nuestra aplicación es que permite crear ejercicios y almacenarlos para un uso posterior. Solo la aplicación 5 tiene una opción similar, en la que se pueden crear entrenamientos con los ejercicios deseados y guardarlos.

En nuestra aplicación, los datos informativos que se muestran son los del ‘panel opcional de datos’, que muestran los ejes, la orientación y la rotación (en ángulos y cuaterniones) del dispositivo móvil. En las otras seis aplicaciones, tenemos: estadísticas de uso, camino recorrido, calorías consumidas, tiempo en completar un ejercicio, etc.

La opción de recibir un correo electrónico informativo con el ejercicio realizado es exclusiva de nuestra aplicación. En otras aplicaciones, lo que se hace es guardar las estadísticas de ejercicios completados dentro de la propia aplicación.

La posibilidad de cambiar el idioma es compartida por cinco de las aplicaciones analizadas, como la nuestra en la que se puede escoger entre español e inglés. Remarca que lo esperado era que todas las aplicaciones compartiesen esta característica, ya que parece un requisito básico si se busca llegar al mayor número de usuarios posible.

Y la última característica examinada en la Tabla 2 es si la aplicación es multiplataforma. En apartados anteriores ya hemos comentado que la nuestra no lo es, solo estará disponible para Android, y otras tres de la comparativa tampoco lo son. Al igual que se indicó en el caso anterior, esta característica favorece el poder llegar a más dispositivos móviles y, por tanto, a más usuarios.

Otras características a analizar podrían haber sido si se tratan de aplicaciones gratuitas, si necesitan cuentas de usuario, si tienen foros de discusión incorporados, si están médicamente testadas por profesionales del sector, etc.

6 Conclusiones y líneas futuras

En este sexto, y ya último, capítulo se presentan las conclusiones a las que se llegan tras la realización de este TFG. Se concluye con un análisis de las posibles líneas futuras a aplicar en el desarrollo de este tipo de aplicaciones móviles para rehabilitación, centrándonos en la que hemos creado.

6.1 Conclusiones

El mercado de las mHealth está en constante crecimiento. Las razones se pueden encontrar en que cada vez hay más dispositivos móviles funcionando, cada uno de los cuales con un número cada vez mayor de todo tipo de aplicaciones móviles y las centradas en el campo de la salud constituyen una herramienta muy útil tanto en la evaluación como en el tratamiento de diversas afecciones.

La rehabilitación de trastornos musculoesqueléticos con ejercicio físico viene avalada por organismos internacionales como la OMS o la EU-OSHA. Estos trastornos, que pueden afectar a varias partes del cuerpo, tienen una gran influencia en la vida diaria de las personas, como por ejemplo en el ámbito del trabajo. Numerosos artículos y ensayos recogen diversas técnicas basadas en ejercicios que apoyan su uso y sus ventajas en rehabilitación.

Se dispone de una extensa literatura sobre la utilización de aplicaciones móviles en rehabilitación, sobre el uso de los sensores internos de los dispositivos móviles en este campo y sobre la seguridad que deben proporcionar estas aplicaciones a los usuarios finales. En estos artículos científicos se presentan varias aplicaciones móviles que se sirven de los sensores internos, la cámara integrada, etc., para tratar desde un esguince de tobillo a la debilidad latente en las personas mayores. Varios autores coinciden en que los pacientes se muestran mucho más receptivos a este tipo de tratamientos que a la alternativa clásica consistente en ir a un centro de rehabilitación.

La mayoría de las aplicaciones móviles presentadas en los artículos científicos quedan encuadradas en el ámbito educativo, de investigación o privado, y no llegan a estar disponibles en las tiendas oficiales de aplicaciones, como por ejemplo Google Play. Haciendo una consulta en la tienda oficial de Google se encuentran muchas aplicaciones que pueden resultar útiles en rehabilitación, desde las que controlan la realización de ejercicio físico hasta las que son más específicas en tratar trastornos como, por ejemplo, el dolor de espalda. El número de aplicaciones exclusivas para rehabilitación no es muy elevado, lo que puede llevar a obtener un resultado como el del test de usabilidad de nuestra aplicación en el que los sujetos afirman no haber utilizado nunca una aplicación de este tipo.

Para desarrollar nuestra aplicación nos servimos de Unity3D. Este programa permite la creación de proyectos en 2D, 3D y VR para nuestras aplicaciones. Posee un Editor muy potente, con varias ventanas, para crear escenas con los objetos deseados. Mediante el empleo de scripts, asociados a estos objetos, se va a controlar lo que ocurra en la escena. Los datos del giroscopio, uno de los muchos sensores disponibles en los dispositivos móviles actuales, serán utilizados para obtener la velocidad de rotación de nuestro dispositivo mediante el script correspondiente.

Presentamos la aplicación ‘La app de la recuperación’, que pretende ser un medio de rehabilitación mediante la realización de una serie de ejercicios controlados. La aplicación consiste en un conjunto de escenas con objetos que van desde un Canvas para la interfaz de usuario hasta una serie de objetos que van a replicar el movimiento de las partes de nuestro cuerpo mediante el giroscopio del dispositivo móvil sujeto, precisamente, a nuestro cuerpo. Se recurre al componente script correspondiente para controlar lo que ocurre en cada escena y para aplicar la rotación detectada en el sensor. Habrá posibilidad de hacer una serie de ejercicios predefinidos o realizar uno creado por nosotros mismos. El control continuo de la correcta realización del ejercicio y el apoyo de elementos sonoros y visuales ayudará a completar sin problema los ejercicios escogidos.

Las pruebas realizadas sobre la aplicación se hacen recurriendo a un test de usabilidad, que va a consistir en probar las funcionalidades de la aplicación y responder a un formulario con la experiencia de uso. Los resultados obtenidos son mayoritariamente positivos, tanto con cada característica analizada como con la nota final otorgada por los sujetos a la aplicación. Durante las pruebas y tras analizar los resultados se pueden vislumbrar cuales serían las mejoras a aplicar, que girarían en torno a más información en la aplicación para completar cada funcionalidad y a una mejor selección de colores para la interfaz de usuario.

Una comparativa de la aplicación con otras aplicaciones del mismo campo da como resultado, entre otros, que pocas se sirven de los sensores internos de nuestros dispositivos móviles para llevar a cabo un control de los diferentes ejercicios disponibles. El uso o no uso de estos sensores y de otros elementos como las cámaras integradas o las pantallas táctiles permite establecer una distinción entre aplicaciones meramente informativas con ejercicios y aplicaciones informativas con ejercicios y seguimiento en la realización de los mismos.

6.2 Líneas futuras

En este último apartado vamos a presentar las posibles líneas futuras a implementar sobre la aplicación móvil que hemos desarrollado. Algunas ya las hemos ido comentando durante la elaboración de este TFG, pero aquí volveremos a incluirlas con el objetivo de ponerlas en común todas juntas. Con cada una de ellas podríamos lanzar una nueva versión de nuestra aplicación, una versión mejorada.

Lo primero sería conseguir que nuestra aplicación sea multiplataforma. Como ya se ha indicado, sería necesario contar con un dispositivo iOS y un APPLE TV cuyo mando Siri Remote tenga giroscopio para poder llevar a cabo las pruebas necesarias. Lo mismo para cualquier otro sistema operativo de los disponibles.

La aplicación permite crear y realizar ejercicios en los que la rotación se produce en un solo eje, con la única excepción del ejercicio predefinido consistente en girar la cabeza a derecha, a izquierda, adelante y atrás (ver Figura 58 del ANEXO A), es decir, un ejercicio de dos ejes con cuatro movimientos a completar. El nivel de complejidad en la implementación de este ejercicio de dos ejes no es mucho mayor que en los ejercicios de un solo eje, con lo cual se podría adaptar fácilmente la aplicación para que se puedan crear y realizar ejercicios que impliquen a más de un eje. Por ejemplo, poder crear un ejercicio de brazo derecho con un primer movimiento en el eje ‘x’ y otro, posterior, en el eje ‘z’.

Diseñar un algoritmo alternativo al utilizado en la detección de posiciones completadas en el caso especial del eje 'x' para ejercicios de brazos y piernas. El que se usa no da problemas en la mayoría de las situaciones, pero el objetivo siempre debe ser lograr una detección lo más precisa posible.

Al realizar las pruebas de la aplicación, se comentó que se hacían con el smartphone utilizado para desarrollar la aplicación. La razón era para evitar problemas con la resolución de pantalla de los dispositivos móviles más actuales. Este problema se debe a que al crear la aplicación en Unity se utilizó como resolución de pantalla de referencia para la interfaz de usuario (UI) la del dispositivo móvil indicado en la introducción, una resolución de pantalla que hoy en día ha dejado de ser de las más comunes. Para solucionar esto, valdría con acceder al componente Canvas Scaler de un determinado objeto Canvas y modificar sus parámetros. Por ejemplo, podemos variar los valores de 'Reference Resolution' a los más actuales que encontremos o usar la propiedad 'Match' para efectuar cambios de escala (Unity, 2018f). Esto afectaría al tamaño y a la posición de los objetos UI utilizados, con lo que tendríamos que modificarlos para dejarlos como estaban.

Una vez se ha sorteado el problema anterior, se podría llevar a cabo un nuevo test de usabilidad sobre la aplicación. Este consistiría en instalar la aplicación en el dispositivo móvil del sujeto, probar las diferentes funcionalidades y, por último, rellenar el formulario de usabilidad. Al formulario se le añadirían nuevas cuestiones relativas a cómo se adapta la interfaz de usuario de la aplicación a la resolución de pantalla del dispositivo, si el giroscopio del dispositivo lee correctamente los datos de rotación, etc.

Otras posibles líneas futuras a aplicar serían las opiniones que recibimos de los sujetos que realizan las pruebas de la aplicación como, por ejemplo, usar colores más vivos o introducir mayor información en cada escena.

Referencias

- Adidas Runtastic (2021). *adidas Training - Entrenamiento Fitness & HIIT* (6.1) [Aplicación móvil]. Recuperado de <https://play.google.com/store/apps/details?id=com.runtastic.android.results.lite&hl=es&gl=US>
- Agencia Europea para la Seguridad y la Salud en el Trabajo (s.f.). *Trastornos musculoesqueléticos*. Recuperado el 30 de julio de 2021 de <https://osha.europa.eu/es/themes/musculoskeletal-disorders>
- Alberto Sanchez (2021). *LCA* (6.0.0) [Aplicación móvil]. Recuperado de <https://play.google.com/store/apps/details?id=com.albertosanchez.lca&hl=es&gl=US>
- Alonso-Arévalo, J. y Mirón-Canelo, J. A. (2018). ¿Son útiles y seguras las aplicaciones móviles en salud? *ARCHIVOZ*. Recuperado de <https://gredos.usal.es/handle/10366/138146>
- Anand, M. (2021). *Le damos la bienvenida al IDE de Visual Studio*. Recuperado el 24 de julio de 2021 de <https://docs.microsoft.com/es-es/visualstudio/get-started/visual-studio-ide?view=vs-2017>
- Android Developers (s.f.). *Descripción general de sensores*. Recuperado el 13 de agosto de 2021 de https://developer.android.com/guide/topics/sensors/sensors_overview?hl=es
- Armijo-Olivo S. (2018). A new paradigm shift in musculoskeletal rehabilitation: why we should exercise the brain?. *Brazilian journal of physical therapy*, 22(2), 95-96. Recuperado de <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5883969/>
- Ashapkina, M. S., Alpatov, A. V. y Sablina, V. A. (2020). Smartphone-based Systems for Knee Joint Physical Rehabilitation. En *2020 9th Mediterranean Conference on Embedded Computing (MECO)* (pp. 1-4). IEEE. Recuperado de <https://ieeexplore.ieee.org/document/9134249>
- Ashok, A. y Bhattacharjya, S. (2020). Poster: Virtual Hand Rehabilitation using a Mobile Camera. En *2020 IEEE/ACM International Conference on Connected Health: Applications, Systems and Engineering Technologies (CHASE)* (pp. 1-2). IEEE. Recuperado de <https://ieeexplore.ieee.org/document/9327928>
- Bravo, J., Fontecha, J., Navarro, F. J. y Hervás, R. (2011). A mobile proposal for frailty monitoring by rehabilitation and physical daily activity. En *2011 IEEE International Conference on Consumer Electronics-Berlin (ICCE-Berlin)* (pp. 176-180). IEEE. Recuperado de <https://ieeexplore.ieee.org/document/6031839>
- Chandra, N., Chin, R. S., Cardova, E. y Pratiwi, M. D. (2018). Implementation of gyroscope sensor to presentation application on Android smartphone. En *2018 Indonesian Association for Pattern Recognition International Conference (INAPR)* (pp. 197-201). IEEE. Recuperado de <https://ieeexplore.ieee.org/document/8627037>

- Cieza, A., Causey, K., Kamenov, K., Hanson, S. W., Chatterji, S. y Vos, T. (2020). Global estimates of the need for rehabilitation based on the Global Burden of Disease study 2019: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2019. *The Lancet*, 396(10267), 2006-2017. Recuperado de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0140673620323400>
- Comisión Europea (2014). *LIBRO VERDE sobre sanidad móvil*. Recuperado de [https://ec.europa.eu/transparency/documents-register/detail?ref=COM\(2014\)219&lang=es](https://ec.europa.eu/transparency/documents-register/detail?ref=COM(2014)219&lang=es)
- De la Rosa-Morillo, F., Galloza-Otero, J. C. y Micheo, W. (2019). Rehabilitación del hombro doloroso en el atleta joven. *Rehabilitación*, 53(2), 85-92. Recuperado de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048712018301452>
- Dicianno, B. E., Parmanto, B., Fairman, A. D., Crytzer, T. M., Yu, D. X., Pramana, G., Coughenour, D. y Petrazzi, A. A. (2015). Perspectives on the evolution of mobile (mHealth) technologies and application to rehabilitation. *Physical therapy*, 95(3), 397-405. Recuperado de <https://academic.oup.com/ptj/article/95/3/397/2686556?login=true>
- Ditrendia (2020). *Informe ditrendia, Mobile en España y en el Mundo 2020*. Recuperado de <https://ditrendia.es/informe-mobile-2020/>
- DB Browser for SQLite (s.f.). *The Official home of the DB Browser for SQLite*. Recuperado el 30 de julio de 2021 de <https://sqlitebrowser.org/>
- Enriquez, J. G. y Casas, S. I. (2014). Usabilidad en aplicaciones móviles. *Informes Científicos Técnicos - UNPA*, 5(2), 25-47. Recuperado de <https://publicaciones.unpa.edu.ar/index.php/ICTUNPA/article/view/581>
- Fan, K. y Zhao, Y. (2021). Mobile health technology: a novel tool in chronic disease management. *Intelligent Medicine*. Recuperado de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2667102621000346>
- Frederix, I., Sankaran, S., Coninx, K. y Dendale, P. (2016). MobileHeart, a mobile smartphone-based application that supports and monitors coronary artery disease patients during rehabilitation. En *2016 38th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC)* (pp. 513-516). IEEE. Recuperado de <https://ieeexplore.ieee.org/document/7590752>
- Garcia, J. A. y Navarro, K. F. (2014). The Mobile RehApp™: an AR-based mobile game for ankle sprain rehabilitation. En *2014 IEEE 3rd International Conference on Serious Games and Applications for Health (SeGAH)* (pp. 1-6). IEEE. Recuperado de <https://ieeexplore.ieee.org/document/7067087>
- Geffen, S. J. (2003). 3: Rehabilitation principles for treating chronic musculoskeletal injuries. *Medical journal of Australia*, 178(5), 238-243. Recuperado de https://www.mja.com.au/system/files/issues/178_05_030303/gef10392_fm.pdf

- Google LLC (2021). *Google Fit: Reg. de actividad* (2.62.26) [Aplicación móvil]. Recuperado de <https://play.google.com/store/apps/details?id=com.google.android.apps.fitness&hl=es&gl=US>
- Google LLC (s.f.). *Google Forms*. Recuperado el 25 de agosto de 2021 de <https://www.google.es/intl/es/forms/about/>
- Hardiyanti, N., Lawi, A. y Aziz, F. (2018). Classification of Human Activity based on Sensor Accelerometer and Gyroscope Using Ensemble SVM method. En *2018 2nd East Indonesia Conference on Computer and Information Technology (EIConCIT)* (pp. 304-307). IEEE. Recuperado de <https://ieeexplore.ieee.org/document/8878627>
- Healthinn (2021). *ReHand, Rehabilitación de la Mano vía Tablet* (2.0.3) [Aplicación móvil]. Recuperado de <https://play.google.com/store/apps/details?id=com.healthinn.rehand&hl=es&gl=US>
- Instituto Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo (2011). *VII Encuesta Nacional de Condiciones de Trabajo (VII ENCT)*. Recuperado de <https://www.insst.es/documents/94886/96082/VII+Encuesta+Nacional+de+Condiciones+de+Trabajo%2C+2011/399f13f9-1b87-41de-bd7e-983776f8212a>
- Instituto Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo (s.f.). *Trastornos musculoesqueléticos*. Recuperado el 30 de julio de 2021 de <https://www.insst.es/riesgos-ergonomicos-trastornos-musculoesqueleticos>
- Internacional Organization for Standardization (2018). *ISO 9241-11:2018: Ergonomics of human-system interaction - Part 11: Usability: Definitions and concepts*. Recuperado de <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:9241:-11:ed-2:v1:en>
- ITO Technologies, Inc. (2021). *Podómetro gratis - Contador y Seguimiento de Pasos* (5.39) [Aplicación móvil]. Recuperado de <https://play.google.com/store/apps/details?id=com.tayu.tau.pedometer&hl=es&gl=US>
- Juande (2005). *Academia de videojuegos*. Recuperado de <https://www.youtube.com/c/juande/featured>
- LeMoyne, R., Mastroianni, T., Hessel, A. y Nishikawa, K. (2015). Ankle rehabilitation system with feedback from a smartphone wireless gyroscope platform and machine learning classification. En *2015 IEEE 14th International Conference on Machine Learning and Applications (ICMLA)* (pp. 406-409). IEEE. Recuperado de <https://ieeexplore.ieee.org/document/7424346>
- Majumder, S. y Deen, M. J. (2019). Smartphone sensors for health monitoring and diagnosis. *Sensors*, 19(9), 2164. Recuperado de <https://www.mdpi.com/1424-8220/19/9/2164/htm>
- Microsoft (2021). *C# documentation*. Recuperado el 24 de julio de 2021 de <https://docs.microsoft.com/en-us/dotnet/csharp/>

- Miller, J. (2019). *Visual Studio Tools for Unity*. Recuperado el 24 de julio de 2021 de <https://docs.microsoft.com/en-us/visualstudio/gamedev/unity/get-started/visual-studio-tools-for-unity?view=vs-2019>
- Ministerio de Sanidad, Servicios Sociales e Igualdad (2013). *Estrategia en enfermedades reumáticas y musculoesqueléticas del Sistema Nacional de Salud*. Recuperado de https://www.mscbs.gob.es/organizacion/sns/planCalidadSNS/pdf/Estrategia_en_enfermedades_reumaticas_Accesible.pdf
- Organización Mundial de la Salud (2011). *mHealth: New horizons for health through mobile technologies*. Recuperado de https://www.who.int/goe/publications/goe_mhealth_web.pdf
- Organización Mundial de la Salud (2020a). *Rehabilitation*. Recuperado el 28 de julio de 2021 de <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/rehabilitation>
- Organización Mundial de la Salud (2020b). *Rehabilitation in health systems: guide for action*. Recuperado el 28 de julio de 2021 de <https://www.who.int/publications/i/item/rehabilitation-in-health-systems-guide-for-action>
- Organización Mundial de la Salud (2021). *Musculoskeletal conditions*. Recuperado el 28 de julio de 2021 de <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/musculoskeletal-conditions>
- Papageorgiou, A., Strigkos, M., Politou, E., Alepis, E., Solanas, A. y Patsakis, C. (2018). Security and privacy analysis of mobile health applications: the alarming state of practice. *IEEE Access*, 6, 9390-9403. Recuperado de <https://ieeexplore.ieee.org/document/8272037>
- Sacristan (2021). *Fisioterapia a tu alcance (2.7)* [Aplicación móvil]. Recuperado de <https://play.google.com/store/apps/details?id=com.goodbarber.fisioterapia&hl=es&gl=US>
- Santos, A., Guimarães, V., Matos, N., Cevada, J., Ferreira, C. y Sousa, I. (2015). Multi-sensor exercise-based interactive games for fall prevention and rehabilitation. En *2015 9th International Conference on Pervasive Computing Technologies for Healthcare (PervasiveHealth)* (pp. 65-71). IEEE. Recuperado de <https://ieeexplore.ieee.org/document/7349379>
- ShvagerFM (2021). *Ejercicios para los ojos (2.9.7)* [Aplicación móvil]. Recuperado de <https://play.google.com/store/apps/details?id=com.shvagerfm.eyecorrectorl&hl=es&gl=US>
- Sportractive.com (2021). *Sportractive: Correr y Caminar (4.4.1)* [Aplicación móvil]. Recuperado de <https://play.google.com/store/apps/details?id=com.sportractive&hl=es&gl=US>
- SQLite (s.f.). *SQLite*. Recuperado el 22 de agosto de 2021 de <https://www.sqlite.org/index.html>

- Unity (2018a). *GameObjects*. Recuperado de <https://docs.unity3d.com/es/2017.3/Manual/GameObjects.html>
- Unity (2018b). *Input*. Recuperado de <https://docs.unity3d.com/es/2017.3/Manual/Input.html>
- Unity (2018c). *Las ventanas principales*. Recuperado de <https://docs.unity3d.com/es/2017.3/Manual/UsingTheEditor.html>
- Unity (2018d). *Scripting*. Recuperado de <https://docs.unity3d.com/es/2017.3/Manual/ScriptingSection.html>
- Unity (2018e). *Unity Remote*. Recuperado de <https://docs.unity3d.com/2017.3/Documentation/Manual/UnityRemote5.html>
- Unity (2018f). *Unity User Manual (2017.3)*. Recuperado de <https://docs.unity3d.com/2017.3/Documentation/Manual/index.html>
- Unity (2020). *Android environment setup*. Recuperado de <https://docs.unity3d.com/2020.2/Documentation/Manual/android-sdksetup.html>
- Unity (2021). *Unity*. Recuperado el 30 de julio de 2021 de <https://unity.com/es>
- Vladimir Ratsev (2021). *Ejercicios de dolor de espalda (1.0.99)* [Aplicación móvil]. Recuperado de https://play.google.com/store/apps/details?id=com.vratsev.bpex&hl=es_419&gl=US

ANEXOS

ANEXO A. Manual de usuario de la aplicación

‘La app de la recuperación’



Figura 50. Logotipo de la aplicación móvil.

Nombre completo: ‘La app de la recuperación’

Versión actual: 1.5

Versión mínima de Android en su dispositivo móvil: Android 4.1

‘Jelly Bean’

Última actualización: 13 de julio de 2021

Índice

1. Requisitos básicos	86
2. Instalación en Android	86
3. Menú principal, ajustes y salir	86
4. Crear ejercicio	87
4.1. Modo ‘Realizar el ejercicio’	88
4.2. Modo ‘Escoger ángulos’	89
5. Hacer ejercicios	90
5.1. Ejercicios predefinidos	90
5.2. Ejercicios personificados/creados	90
5.3. Hacer ejercicio	91
6. Sujeción del dispositivo móvil	91
7. Corrección de posibles errores	92
8. Notas	92

1 Requisitos básicos

Aplicación disponible para dispositivos móviles.

Sistemas operativos móviles aceptados: Android.

Versión mínima de Android en su dispositivo móvil: Android 4.1 ‘Jelly Bean’.

2 Instalación en Android



Figura 51. Logotipos de Google Play (izquierda) y formato APK (derecha).

Para instalar la aplicación dispone de dos opciones (ver Figura 51):

- Buscar la aplicación en Google Play e instalarla, siempre y cuando esté disponible en ese momento.
- Usar el ejecutable de la aplicación en formato APK e instalarlo directamente en su dispositivo móvil. Deberá permitir la instalación de aplicaciones de ‘orígenes desconocidos’, es decir, externas a la tienda oficial de Android.

3 Menú principal, ajustes y salir

Al entrar en la aplicación y pasar la pantalla de inicio, se accede al menú principal de la aplicación.

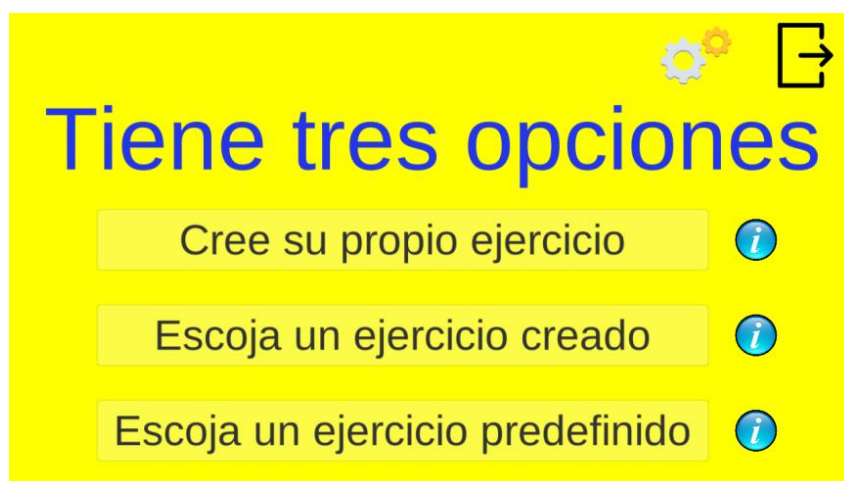




Figura 52. Menú principal de la aplicación.

Como se ve en la figura anterior (Figura 52), se dispone de tres opciones. Cliqueando en los botones  (aquí y en el resto de la aplicación) se obtiene información relativa a en qué consiste cada opción. Esta será:

- Cree su propio ejercicio: “Cree su propio ejercicio desde cero. Elija el tipo de ejercicio, el eje de giro y los movimientos que desee”.

- Escoja un ejercicio creado: “Escoja un ejercicio previamente creado. Tendrá la posibilidad de realizarlo, modificarlo o eliminarlo”.
- Escoja un ejercicio predefinido: “Dispone de hasta 10 ejercicios diferentes con la posibilidad de escoger el número de repeticiones a hacer”.

Clickeando en  se accede a los ajustes de la aplicación. Estos son:

- Idioma: posibilidad de cambiar el idioma de la aplicación. Posibilidades: español e inglés.
- Datos: opción para visualizar los ejes, orientación y rotación (en ángulos y cuaterniones) del dispositivo móvil, como puede verse en la Figura 53. Posibilidades: mostrar u ocultar.

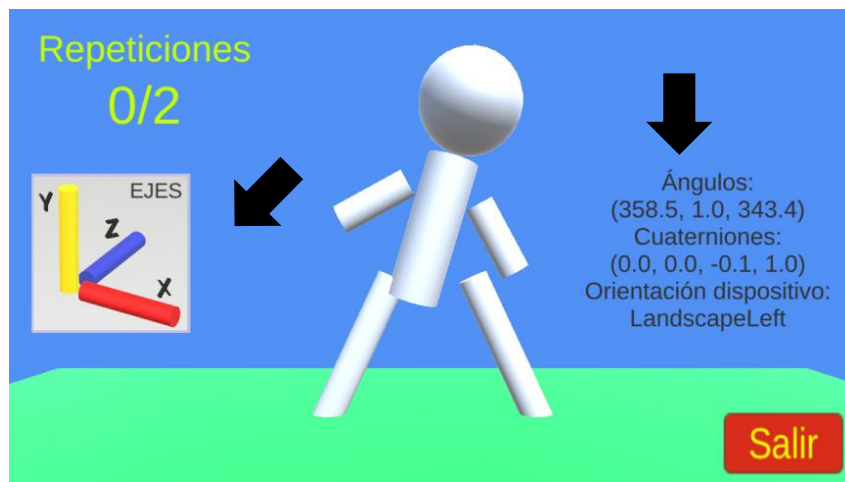



Figura 53. Visualización de la opción datos de la aplicación activada.

Clickeando en  se puede optar a salir de la aplicación.

4 Crear ejercicio

Clickeando en ‘Cree su propio ejercicio’ en el menú principal (ver Figura 52) se accede a esta opción.



Figura 54. Escena ‘Cree su ejercicio’ de la aplicación.

Como puede verse en la figura anterior (ver Figura 54), hay que escoger el tipo de ejercicio a hacer de entre los disponibles: pecho, cabeza, pierna derecha, pierna izquierda, brazo derecho y brazo izquierdo; y pasar a establecer el ejercicio cliqueando en el botón 'PLAY'. Esto nos lleva a una escena con los dos modos de crear el ejercicio (ver Figura 55).

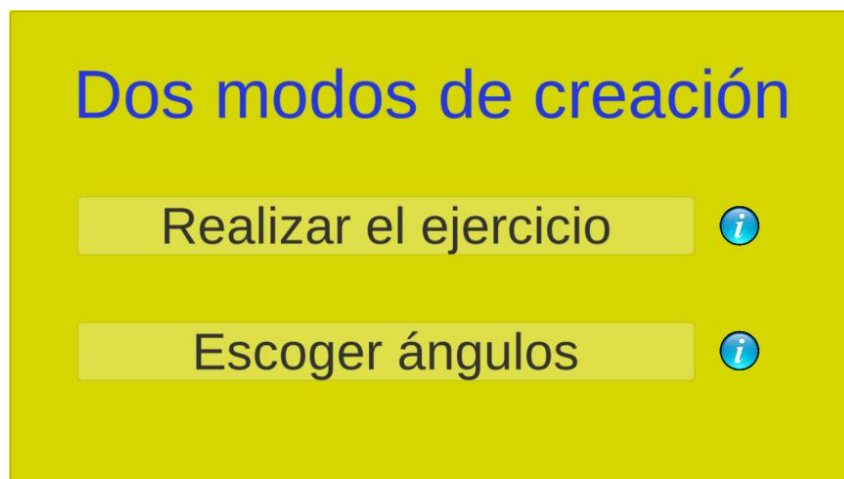


Figura 55. Escena 'Dos modos de creación' de la aplicación.

4.1 Modo 'Realizar el ejercicio'

Consiste en realizar el ejercicio que desee y presionar en cualquier lugar de la pantalla para establecerlo, solo se admiten ejercicios de un eje.

Al clicar en 'Realizar el ejercicio' (ver Figura 55) se accede a una escena informativa (ver Figura 56) que indica cómo se ha de colocar el dispositivo móvil para un correcto establecimiento del ejercicio y tocando en cualquier lugar de la pantalla se pasa a establecer el ejercicio.

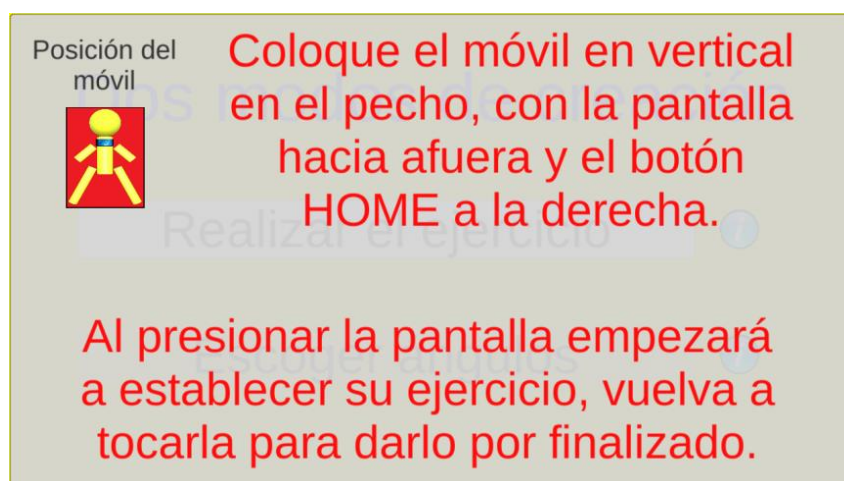


Figura 56. Escena informativa 1 de la aplicación.

Al hacer el ejercicio y tocar la pantalla se vuelve a la escena 'Cree su ejercicio', y si todo ha ido bien aparecerá un símbolo ✓ al lado del botón 'PLAY' indicativo de ejercicio correctamente establecido. Solo queda guardar el ejercicio pulsando el botón correspondiente (ver Figura 54).

4.2 Modo ‘Escoger ángulos’

Consiste en realizar su ejercicio presionando en cualquier lugar de la pantalla para establecer el ángulo inicial y final del mismo, solo se admiten ejercicios de un eje.

Al clicar en ‘Escoger ángulos’ (ver Figura 55) se accede a una escena informativa (ver Figura 57) que indica cómo se ha de colocar el dispositivo móvil para un correcto establecimiento del ejercicio y tocando en cualquier lugar de la pantalla se pasa a establecer el ejercicio. Con el primer toque de pantalla se establece el ángulo inicial del ejercicio y con el segundo el ángulo final del mismo.

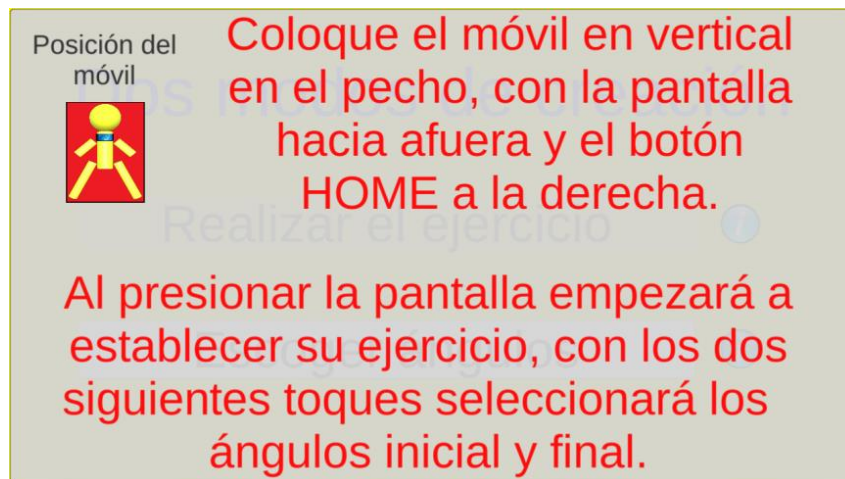


Figura 57. Escena informativa 2 de la aplicación.

Al hacer el ejercicio tocando la pantalla dos veces (una por ángulo) se vuelve a la escena ‘Cree su ejercicio’, y si todo ha ido bien aparecerá un símbolo ✓ al lado del botón ‘PLAY’ indicativo de ejercicio correctamente establecido. Solo queda guardar el ejercicio pulsando el botón correspondiente (ver Figura 54).

5 Hacer ejercicios

5.1 Ejercicios predefinidos

Clickeando en ‘Escoja un ejercicio predefinido’ en el menú principal (ver Figura 52) se accede a esta opción.



Figura 58. Escena ‘¿Qué ejercicio quiere hacer?’ de la aplicación.

Como puede verse en la figura anterior (ver Figura 58), se puede escoger entre 10 ejercicios diferentes a hacer. Clickeando en ‘Enviar correo’ y rellenando nombre y email se recibirá un correo informativo con el ejercicio realizado. Pulsando el ‘SALIR’ se vuelve al menú principal.

En el punto 5.3 se detalla la realización del ejercicio.

5.2 Ejercicios personificados/creados

Clickeando en ‘Escoja un ejercicio creado’ en el menú principal (ver Figura 52) se accede a esta opción.




Figura 59. Escena ‘Ejercicios creados disponibles’ de la aplicación.

Como puede verse en la figura anterior (ver Figura 59), en el menú desplegable se puede escoger un ejercicio creado previamente. Por cada ejercicio se aporta información de: tipo de ejercicio, eje y ángulos de rotación, y fecha de creación.

Clickeando en ‘Enviar correo’ y rellenando nombre y email se recibirá un correo informativo con el ejercicio realizado. Se dispone que cuatro botones que realizan cuatro operaciones diferentes: ‘REALIZAR EJERCICIO’ para hacer el ejercicio seleccionado (en el punto 5.3 se detalla la realización del ejercicio), ‘ELIMINAR EJERCICIO’ para eliminar el ejercicio seleccionado, ‘MODIFICAR EJERCICIO’ para actualizar (tipo de ejercicio, eje, ángulos, fecha) el ejercicio seleccionado, y ‘SALIR’ para volver al menú principal.

5.3 Hacer ejercicio

Al escoger un ejercicio se pasa a una escena (ver Figura 60) en la que se visualiza la correcta colocación del dispositivo móvil y se puede escoger el número de repeticiones a hacer, con un máximo de 10.



Figura 60. Escena previa a realizar un ejercicio.

Al pulsar en ‘Entrar’ se empieza a hacer el ejercicio. Se dispone de cuatro elementos visuales/sonoros que ayudan a completar el ejercicio:

- Un indicador con el número de repeticiones completadas (arriba a la izquierda).
- Una serie de indicadores en forma de viñetas que dan información del punto en el que está el ejercicio en cada momento.
- Un indicador sonoro en aumento conforme más nos alejamos del eje de realización del ejercicio.
- Un indicador sonoro que avisa de cada posición completada o del fin de la realización del ejercicio, en este último caso con ‘pitido’ doble.

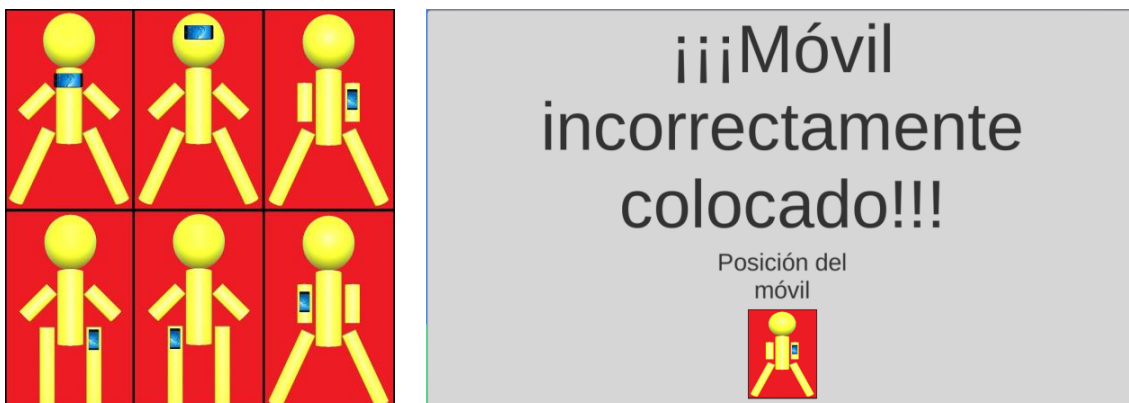
Una vez completado el ejercicio se puede volver a repetir o salir y volver al menú correspondiente.

6 Sujeción del dispositivo móvil

Para completar los ejercicios se necesitan brazaletes o cintas que sujeten el teléfono móvil al cuerpo. También se pueden usar las manos, pero los ejercicios resultarían algo más incómodos de completar al tener las manos ocupadas durante la realización de los mismos.


7 Corrección de posibles errores

El principal error es una mala colocación del dispositivo móvil.



Figuras 61 y 62. Colocación correcta del dispositivo móvil (izquierda) y mensaje de error en la aplicación por su mala colocación (derecha).

No colocar el móvil correctamente (ver Figura 61) hace que al realizar un ejercicio nos aparezca un mensaje como el de la Figura 62, que nos indica “¡¡¡Móvil incorrectamente colocado!!!” y nos fuerza a posicionarlo de la forma adecuada. Hasta que no esté bien colocado el ejercicio no empezará.

Lo mismo ocurre al crear un ejercicio (ver Figura 54), una mala orientación del dispositivo hará que el ejercicio no quede establecido, apareciendo un símbolo  al lado del botón ‘PLAY’. En estas condiciones, el ejercicio no podrá ser guardado.

Otro error común es rotar en la dirección opuesta, es decir, no saber en qué dirección hay que rotar de acuerdo a los ángulos de rotación del ejercicio. Esto puede ser debido a, por ejemplo, no entender el sistema de ejes de la aplicación. La regla básica es, partiendo de una rotación de 0° , movernos:

- En el eje ‘x’: desde los 0° hacia adelante todos los ángulos de rotación serán positivos y desde los 0° hacia atrás todos los ángulos de rotación serán negativos, independientemente del tipo de ejercicio.
- En los ejes ‘y’ y ‘z’: desde los 0° hacia la derecha todos los ángulos de rotación serán positivos y desde los 0° hacia la izquierda todos los ángulos de rotación serán negativos, independientemente del tipo de ejercicio.

8 Notas

Las figuras de este ANEXO A son de elaboración propia, ya que se tratan de imágenes de las diferentes escenas de la aplicación móvil ‘La app de la recuperación’ sobre la que gira este Trabajo de Fin de Grado.

ANEXO B. Formulario de usabilidad

‘La app de la recuperación’

Test de usabilidad de la aplicación ‘La app de la recuperación’

***Obligatorio**

1. Edad *

Escoja la franja de edad a la que pertenezca.

Marca solo un óvalo.

- 0-20 años
- 21-35 años
- 36-50 años
- 51-65 años
- Más de 65 años

2. ¿Tiene un smartphone (teléfono inteligente)? *

Marca solo un óvalo.

- Sí
- No

3. ¿Qué tal se maneja usted con su smartphone? *

Escoja un valor numérico entre 1 (muy mal) y 10 (muy bien).

Marca solo un óvalo.

- | | | | | | | | | | | | |
|---------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|----------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | |
| Muy mal | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | Muy bien |

4. ¿Ha usado alguna vez una aplicación móvil del campo de la salud? *

Aquí entran todo tipo de aplicaciones relacionadas con la salud y el bienestar, desde aplicaciones para entrenar hasta las que cuentan cuántos pasos hemos hecho en un día.

Marca solo un óvalo.

- Sí
- No
- No me acuerdo

5. ¿Ha usado alguna vez una aplicación móvil para rehabilitación? *

Marca solo un óvalo.

- Sí
- No
- No me acuerdo

6. La aplicación y su interfaz de usuario *

Preguntas generales sobre la aplicación y su interfaz de usuario.

Marca solo un óvalo por fila.

	Muy en desacuerdo	En desacuerdo	Neutral	De acuerdo	Totalmente de acuerdo
La aplicación no tarda mucho en iniciarse.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Es fácil navegar por cada escena.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
En cada escena hay suficiente información de lo que hay que hacer.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
El aspecto visual de la aplicación es positivo.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Los elementos visuales y sonoros ayudan en el uso de la aplicación.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Es útil la recepción de un correo informativo.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Los ajustes disponibles (cambiar idioma y ver datos)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

son útiles.

7. Creación de ejercicios *

Preguntas sobre la creación de un ejercicio.

Marca solo un óvalo por fila.

	Muy en desacuerdo	En desacuerdo	Neutral	De acuerdo	Totalmente de acuerdo
El menú de creación de ejercicios es fácil de entender.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Los modos de crear un ejercicio están bien explicados.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Me queda claro como tengo que colocar el dispositivo móvil.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Es sencillo crear un ejercicio con el modo 'Realizar ejercicio'.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Es sencillo crear un ejercicio con el modo 'Escoger ángulos'.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

8. Realización de ejercicios predefinidos *

Preguntas sobre la realización de un ejercicio predefinido, de entre los 10 disponibles.

Marca solo un óvalo por fila.

	Muy en desacuerdo	En desacuerdo	Neutral	De acuerdo	Totalmente de acuerdo
El menú de ejercicios predefinidos es fácil de entender.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Los 10 ejercicios disponibles están bien explicados.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Me queda claro como tengo que colocar el dispositivo móvil.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Los ejercicios se completan sin problema.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

9. Realización de ejercicios personalizados/creados *

Preguntas sobre la realización de un ejercicio personalizado/creado por ti.

Marca solo un óvalo por fila.

	Muy en desacuerdo	En desacuerdo	Neutral	De acuerdo	Totalmente de acuerdo
El menú de ejercicios personalizados es fácil de entender.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Es fácil encontrar el ejercicio que he creado.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Me queda claro como tengo que colocar el dispositivo móvil.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Los ejercicios se completan sin problema.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Queda claro como eliminar o actualizar un ejercicio.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

10. ¿Cree que la aplicación puede resultar útil en rehabilitación de trastornos musculoesqueléticos? *

Trastornos como una dolencia cervical o dolor en el hombro, por ejemplo.

Marca solo un óvalo.

- Sí
- No
- No lo sé

11. Puntúe la aplicación *

Escoja un valor numérico entre 1 y 10.

Marca solo un óvalo.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

12. ¿Recomendaría la aplicación? *

Marca solo un óvalo.

- Sí
- No
- Tal vez

13. ¿Qué mejorarías de la aplicación?

Este contenido no ha sido creado ni aprobado por Google.

Google Formularios