



**UNIVERSIDAD DE CASTILLA-LA MANCHA
ESCUELA SUPERIOR DE INFORMÁTICA**

**MÁSTER UNIVERSITARIO EN INGENIERÍA
INFORMÁTICA**

**Entorno web de exergames basados en realidad
aumentada para mejorar el envejecimiento
saludable mediante la actividad física**

Raúl Ruiz del Valle Álvarez

Febrero, 2022

ENTORNO WEB DE EXERGAMES BASADOS EN REALIDAD AUMENTADA
PARA MEJORAR EL ENVEJECIMIENTO SALUDABLE MEDIANTE LA
ACTIVIDAD FÍSICA



**UNIVERSIDAD DE CASTILLA-LA MANCHA
ESCUELA SUPERIOR DE INFORMÁTICA**

**MÁSTER UNIVERSITARIO EN INGENIERÍA
INFORMÁTICA**

**Entorno web de exergames basados en realidad
aumentada para mejorar el envejecimiento
saludable mediante la actividad física**

Autor: Raúl Ruiz del Valle Álvarez

Tutor académico: David Vallejo Fernández

Cotutor académico: Santiago Sánchez Sobrino

Febrero, 2022

Raúl Ruiz del Valle Álvarez

Ciudad Real – España

© 2022 Raúl Ruiz del Valle Álvarez

Permission is granted to copy, distribute and/or modify this document under the terms of the GNU Free Documentation License, Version 1.3 or any later version published by the Free Software Foundation; with no Invariant Sections, no Front-Cover Texts, and no Back-Cover Texts. A copy of the license is included in the section entitled "GNU Free Documentation License".

Se permite la copia, distribución y/o modificación de este documento bajo los términos de la Licencia de Documentación Libre GNU, versión 1.3 o cualquier versión posterior publicada por la *Free Software Foundation*; sin secciones invariantes. Una copia de esta licencia esta incluida en el apéndice titulado «GNU Free Documentation License».

Muchos de los nombres usados por las compañías para diferenciar sus productos y servicios son reclamados como marcas registradas. Allí donde estos nombres aparezcan en este documento, y cuando el autor haya sido informado de esas marcas registradas, los nombres estarán escritos en mayúsculas o como nombres propios.

TRIBUNAL:

Presidente:

Vocal:

Secretario:

FECHA DE DEFENSA:

CALIFICACIÓN:

PRESIDENTE

VOCAL

SECRETARIO

Fdo.:

Fdo.:

Fdo.:

Resumen

La mejora de las condiciones de vida y los avances científicos han repercutido en una mayor longevidad. Se estima que en 2050 el 16 % de la población mundial supere los 65 años. Sin embargo, los mayores representan la parte más inactiva de la población. La actividad física es un comportamiento clave que influye en las principales enfermedades crónicas del envejecimiento. Por tanto, es necesario promover el ejercicio entre los mayores para mejorar su salud y calidad de vida.

Actualmente, existen soluciones tecnológicas que promueven la actividad física por parte de personas mayores, pero la mayoría necesitan de plataformas hardware poco accesibles y un largo periodo de formación. Además, muchas de esas soluciones no proporcionan mecanismos de gamificación que inciten a los usuarios a realizar de forma consistente los ejercicios. Con estas carencias en mente, se propone desarrollar una plataforma web accesible de videojuegos activos que ofrezca la posibilidad de guiar y motivar la realización de juegos basados en ejercicio físico a personas mayores usando realidad aumentada.

La plataforma hará uso de la cámara de un dispositivo móvil para realizar el tracking del esqueleto de la persona, permitiendo así reconocer que los usuarios están completando una serie de juegos basados en la interacción con objetos virtuales. Además, los juegos incorporarán mecanismos de gamificación para motivar el uso de la plataforma.

Abstract

Improved living conditions and scientific advances have led to increased longevity. It is estimated that by 2050, 16 % of the world's population will be over the age of 65. However, the elderly represent the most inactive part of the population. Physical activity is a key behavior influencing the major chronic diseases of aging. It is therefore necessary to promote exercise among the elderly to improve their health and quality of life.

Currently, there are technological solutions that promote physical activity by older people, but most of them require inaccessible hardware platforms and a long training period. In addition, many of these solutions do not provide gamification mechanisms that encourage users to consistently perform the exercises. With these shortcomings in mind, it is proposed to develop an accessible web platform of active video games that offers the possibility to guide and motivate the performance of physical exercise-based games to elderly people using augmented reality.

The platform will make use of the camera of a mobile device to track the skeleton of the person, making it possible to recognize that users are completing a series of games based on interaction with virtual objects. In addition, the games will incorporate gamification mechanisms to motivate the use of the platform.

Agradecimientos

En primer lugar, quiero dar las gracias a mis directores de proyecto, David Vallejo Fernández y Santiago Sánchez Sobrino, por todo lo que me han enseñado, su confianza y su ayuda en la realización del presente Trabajo Fin de Máster.

También a mis padres Mercedes y Francisco, que se han implicado activamente en probar el sistema que se ha desarrollado, siendo un pilar muy importante para llegar al resultado obtenido, y por su apoyo incondicional resto de áreas, permitiendo que me centre en la creación de este proyecto.

Por último, a Noelia, por acompañarme en este viaje, y ofrecerme su ayuda y consejos en todo momento, para que sigamos disfrutando y recorriendo el camino del progreso juntos.

Raúl Ruiz del Valle Álvarez

Índice general

Resumen	V
Abstract	VII
Agradecimientos	IX
Índice general	XI
Índice de figuras	XIII
Listado de acrónimos	XV
Glosario	XVII
1. Introducción	1
1.1. Competencias	5
1.2. Estructura del documento	6
2. Objetivos	7
2.1. Objetivo general	7
2.2. Objetivos específicos	7
3. Antecedentes.	9
3.1. Aplicaciones relacionadas con la temática del TFM	9
3.1.1. Cardiowall landscape	10
3.1.2. Wii Sports and Wii Fit	11
3.1.3. FarmUp (Kinect)	12
3.1.4. OhShape	12
3.2. Comparativa de los entornos analizados	13
3.3. Tecnologías Web	15

4. Método de trabajo	19
4.1. Desarrollo iterativo e incremental	19
4.2. Planificación y distribución del trabajo	21
4.3. Medios empleados para el desarrollo	22
4.3.1. Medios hardware	22
4.3.2. Medios software	23
5. Resultados	25
5.1. Arquitectura y preparación del entorno	25
5.2. Iteración 1 - Menú principal	29
5.3. Iteración 2 - Mecánicas de juego	33
5.4. Iteración 3 - Videojuego “Cardio”	38
5.5. Iteración 4 - Videojuego “Agilidad”	42
5.6. Iteración 5 - Videojuego “Flexibilidad”	47
5.7. Iteración 6 - Histórico y estadísticas	51
6. Conclusiones y líneas de trabajo futuro.	55
6.1. Análisis de los resultados	55
6.2. Cumplimiento de objetivos y adquisición de competencias	56
6.3. Líneas de trabajo futuro	58
6.4. Reflexión personal	59
A. Repositorio	63
B. Manual del entorno	65
B.1. Consideraciones previas	65
B.2. Instrucciones de uso	65
B.2.1. Flexibilidad	67
B.2.2. Cardio	68
B.2.3. Agilidad	69
B.2.4. Tutorial	71
B.2.5. Historial	71
B.2.6. Estadísticas	72
Referencias	73

Índice de figuras

3.1. Personas ejercitándose con CardioWall landscape	10
3.2. Personas ejercitándose con videojuegos de Wii Sports y Wii Fit	11
3.3. Personas ejercitándose con FarmUp	12
3.4. Personas ejercitándose con OhShape	13
3.5. Comparativa de los entornos analizados	15
3.6. Comparativa de las tecnologías web analizadas	18
4.1. Proceso de desarrollo iterativo	20
4.2. Tabla de fechas de desarrollo	21
4.3. Cronograma de desarrollo	22
4.4. Herramientas y tecnologías utilizadas en el desarrollo del TFM	23
5.1. Diagrama de estados de ReActívate	27
5.2. Diagrama de casos de uso	28
5.3. Boceto de la interfaz de usuario del menú	30
5.4. Menú de ReActívate	32
5.5. Boceto de marcadores, objetivos y HUD	34
5.6. Diseño final de marcadores y objetivos	35
5.7. Puntos de referencia de Mediapipe pose	37
5.8. Boceto de la interfaz del exergame “cardio”	40
5.9. Videojuego Cardio	41
5.10. Boceto de la interfaz del exergame “agilidad”	44
5.11. Videojuego Agilidad	46
5.12. Boceto de la interfaz del exergame “flexibilidad”	48
5.13. Videojuego Flexibilidad	50
5.14. Boceto de la interfaz de estadísticas	52
5.15. Boceto de la interfaz del exergame “flexibilidad”	52
5.16. Historial ReActívate	53
5.17. Estadísticas ReActívate	54

0. ÍNDICE DE FIGURAS

B.1. Permisos de acceso a cámara	66
B.2. Interacción con botones	66
B.3. Escena pre-entrenamiento	67
B.4. Imágenes del exergame “Flexibilidad”	68
B.5. Imágenes del exergame “Cardio”	69
B.6. Imágenes del exergame “Agilidad”	70
B.7. Imagen del historial	71
B.8. Imagen de las estadísticas	72

Listado de acrónimos

TFM	Trabajo Fin de Máster
RV	Realidad virtual
RA	Realidad aumentada
HA	Healthy aging
OMS	Organización mundial de la salud
APPS	Aplicaciones
GUI	Interfaz gráfica de usuario
ML	Machine Learning
HUD	Head-Up Display
GPU	Unidad de procesamiento gráfico

Glosario

- api** API es el acrónimo de Application Programming Interface (interfaz de programación de aplicaciones), que es un intermediario de software que permite que dos aplicaciones se comuniquen entre sí.. 16
- exergame** Un exergame, o videojuego activo, es aquel que requiere que los participantes realicen ejercicio físico para poder jugar al juego. plural. 3–5, 7–9, 11–15, 17, 21, 26, 31–33, 35, 36, 38–43, 45–48, 50–52, 55–59, 65, 67, 69, 71
- framework** Conjunto estandarizado de conceptos, prácticas y criterios para enfocar una problemática particular que sirve como referencia para resolver nuevos problemas similares. plural. 6, 9, 15–18
- Javascript** Lenguaje de programación encargado de dotar de mayor interactividad y dinamismo a las páginas web. Se le reconoce como uno de los tres lenguajes nativos de la web junto a HTML y a CSS.. 6, 9, 15, 16
- Machine Learning** El machine learning es un método de análisis de datos que automatiza la construcción de modelos analíticos. Es una rama de la inteligencia artificial basada en la idea de que los sistemas pueden aprender de datos, identificar patrones y tomar decisiones con mínima intervención humana. 4, 23
- open-source** Software cuyo código fuente original está disponible libremente y puede ser redistribuido y modificado.. 16, 17
- plugin** Un plugin es un componente de software que añade una función específica a un programa informático existente. Cuando un programa admite plugins, permite su personalización. plural. 17
- WebAssembly** WebAssembly es un formato de código binario portable que permite la ejecución en el navegador de scripts de lado del cliente. 25

Capítulo 1

Introducción

LA esperanza de vida de la población crece en todo el mundo y, por primera vez en la historia, la mayor parte de naciones tienen habitantes con una expectativa de vida que supera los 60 años. Se espera que, para 2050, la población mundial que supere esa edad sobrepase los 2000 millones, aumentando en 900 millones respecto 2015¹.

Existe un cambio en la distribución de la pirámide de población. Todos los países incrementan rápidamente su población en edades avanzadas, y en muchos, los nacimientos cada vez son menos. Es decir, se está produciendo un envejecimiento de la población. Gracias a la ciencia y la tecnología, esa posibilidad de vejez se ha incrementado en muy poco tiempo, y las personas mayores viven más y con mejor calidad de vida, pudiendo contribuir de muchos modos a sus familias y a la sociedad en general.

Por el contrario, este crecimiento de la ciencia y la tecnología ha producido la creación de trabajos y entornos laborales cada vez más sedentarios, creciendo el número de personas que pasan la mayoría del tiempo de su jornada laboral sentados. Además, las nuevas plataformas de entretenimiento fomentan un estilo de vida sedentario, no complementando de forma saludable las horas restantes de actividad. Esta inactividad durante la mayor parte de la vida de una persona provoca que su envejecimiento biológico sea más rápido.

Según un estudio realizado por la Universidad de California en San Diego [SMS⁺17], se identificó que las células envejecen más rápido con un estilo de vida sedentario, no coincidiendo la edad biológica con la cronológica, y resaltando la importancia del ejercicio físico y el estilo de vida activo durante todas las etapas de nuestra vida. En el estudio se detalla cómo los telómeros, que protegen a los cromosomas del deterioro, se acortan progresivamente con la edad. Sin embargo, un estilo de vida sedentario acelera el deterioro y, a medida que las células envejecen, crecen las enfermedades cardiovasculares y algunos tipos de cáncer.

El sedentarismo y una baja actividad física es algo cada vez más habitual en los adultos mayores, que son aquellas personas mayores de 60 años. El estudio “Physical Inactivity Among Adults Aged 50 Years and Older” [WCG⁺19] analiza el incremento de inactividad por tramos de edad, existiendo más de 27 % de adultos mayores que no realizan actividad física fuera del trabajo, incrementándose el valor conforme la edad avanza.

¹<https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/envejecimiento-y-salud>

1. INTRODUCCIÓN

Por este motivo, se hace necesario fomentar un envejecimiento activo. La Organización mundial de la salud (OMS) define Healthy Aging (HA) como “el proceso de desarrollar y mantener la capacidad funcional que permite el bienestar en la edad avanzada”². Estas capacidades funcionales incluyen tener un buen nivel físico y mental. Para ello, es necesario cuidar el cuerpo a través de la actividad física y el ejercicio.

Existen multitud de formas para llevar a cabo actividad física, pero gracias a la tecnología, cada vez más integrada en los hogares, aparecen técnicas y herramientas novedosas que ayudan a que la realización de ejercicio sea más divertida, ayudando así a la adherencia de los usuarios a una rutina de ejercicios que mantenga su estado de forma. Estas herramientas incluyen mecanismos que ayudan a las personas a verse recompensadas de forma extrínseca para mejorar su motivación mediante técnicas de gamificación. También, registran el progreso, para que los usuarios vean su evolución durante el uso de la herramienta. Además, muchas de estas plataformas pueden ser utilizadas por el usuario en su domicilio, permitiendo así que los adultos con problemas de movilidad o confinamiento domiciliario puedan hacer actividad física sin necesidad de acudir a centros especializados.

El uso de las tecnologías aplicado a la medicina es conocido como e-Health. En 2001, Gunther Eysenbach define la ciber salud o e-Health como “un campo emergente en la intersección de la informática médica, la salud pública y los negocios, que hace referencia a los servicios e información sanitarios prestados o mejorados a través de Internet y las tecnologías relacionadas. En sentido amplio, el término representa no únicamente aspectos tecnológicos, sino también una disposición, una manera de entender, una actitud, y un compromiso con un pensamiento global dirigido a mejorar la atención sanitaria local, regional y mundial mediante las tecnologías de la información y las comunicaciones.” [Eys01].

Las tecnologías e-Health pueden abarcar diferentes ámbitos, como la telesalud, que es el uso de las tecnologías para acceder a los servicios de atención médica a distancia y gestionar la atención de la salud, o la telecirugía, que permite a los médicos realizar intervenciones quirúrgicas de forma remota sin estar realmente presente. También, como expresa la definición de Eysenbach, e-Health no solo representa aspectos tecnológicos que tienen un impacto inmediato en la salud, sino que también simboliza las herramientas que indirectamente benefician en la salud de las personas, por ejemplo, mediante *software* que facilite y promueva hábitos saludables como el ejercicio físico, que es una actividad que ha sido ampliamente demostrada que mejora la salud y calidad de vida. [RB18]

²<https://www.who.int/news-room/q-a-detail/ageing-healthy-ageing-and-functional-ability>

Dentro de estas soluciones que utilizan las tecnologías para aplicarlas a la salud, existen diferentes tipos de intervenciones o iniciativas que ayudan a promover la actividad física en las personas mayores. Estudios como “The effect of e-health interventions promoting physical activity in older people: a systematic review and meta-analysis” [KSL⁺20], sintetizan qué impacto tienen diferentes intervenciones de e-Health en la actividad física de un paciente, y concluyen que las intervenciones de salud electrónica son eficaces para aumentar el tiempo dedicado y el gasto energético en la actividad física. Ejemplos de tipos de intervenciones son: Proporcionar recursos de cómo practicar un estilo de vida físicamente activo en línea, teleconsulta, orientada a dar consejos sobre la actividad física o permitir que los participantes introduzcan su rendimiento en la actividad física, como el recuento de pasos, para que puedan comprender el progreso de su rendimiento.

Otro ejemplo de intervención analizada en el estudio citado, y que tiene un gran impacto en el tiempo dedicado a la actividad, gasto energético, y adherencia de los participantes es proporcionar actividades basadas en videojuegos para mejorar el tiempo de actividad física. Estos juegos son conocidos como videojuegos activos o exergames [MVGT13]. Los exergames son videojuegos en los que se combina el entretenimiento con la actividad física. Muchas personas consideran que la actividad física a través del ejercicio es aburrida y monótona. Sin embargo, estos juegos interactivos buscan ofrecer motivación y estimulación para que la persona realice ejercicio y mejore su calidad de vida.

Inicialmente, las plataformas tecnológicas de soluciones basadas en exergames para su uso comercial, enfocaban sus esfuerzos en atraer un público joven, ya que era el más habituado e interesado en comprar y utilizar videojuegos. Plataformas como Playstation move ³, Xbox Kinect ⁴ o WiiMote ⁵, se desarrollaron y publicitaron pensando en un público joven, como complemento de las videoconsolas para controlar e interactuar con la consola sin necesidad de tener contacto físico con un controlador de videojuegos tradicional. El avance en las tecnologías permitió innovar, teniendo un gran impacto en la calidad de los exergames de actividad física desarrollados, y creciendo su popularidad en todos los rangos de edad. Por ejemplo, con la videoconsola Wii, donde se hizo muy popular el uso de exergames como herramienta de entretenimiento.

Durante los últimos años, han surgido grandes avances en la tecnología hardware y software que permiten una mejor detección del movimiento y, por tanto, una mejor experiencia. Además, gracias a este desarrollo, cada vez se requiere de hardware menos potente para poder ejecutar los entornos de exergames, y están apareciendo más desarrollos, haciendo más frecuentes las aplicaciones de exergames enfocadas a mejorar la salud, ayudando en materias como la rehabilitación o como motivador para realizar actividad física.

³<https://www.playstation.com/es-es/accessories/playstation-move-motion-controller>

⁴<https://developer.microsoft.com/es-es/windows/kinect/>

⁵<https://es.wikipedia.org/wiki/Wiimote>

1. INTRODUCCIÓN

No obstante, el mercado actual de aplicaciones de exergames aún no es muy amplio. Además, muchas de esas APPS requieren de hardware costoso y específico para la ejecución de los videojuegos. La mayoría de plataformas utilizan el hardware para detectar los movimientos y la interacción del usuario con las interfaces software. Como por ejemplo, los citados anteriormente Xbox Kinect, Playstation Move o Wiimote. Pero en la actualidad, gracias a los dispositivos móviles, con cámaras de alta resolución y procesadores más potentes que nunca computacionalmente, y en el *software*, con grandes avances en Machine Learning para la detección del cuerpo y sus movimientos, es posible crear soluciones accesibles y usables sin necesidad de dispositivos de ámbito específico.

En este contexto es en el que se enmarca el presente TFM, que busca aprovechar los avances modernos en los dispositivos móviles y software, para la creación de videojuegos activos con el objetivo de resolver el problema de accesibilidad que existe en este tipo de aplicaciones de exergames en términos de usabilidad y necesidad de dispositivos específicos costosos.

El principal valor que aporta el entorno desarrollado es que será accesible en términos de facilidad a la hora de utilizar el *software*, y solo requerirá de un dispositivo con cámara y una televisión para una mejor visualización como hardware para ser ejecutado. Facilitando así el acceso al entorno para la mayoría de la población, incluso aquella con recursos más limitados que no puede permitirse *hardware* específico para motivar su actividad física. Además, la dificultad adaptativa de los ejercicios permitirá que la herramienta pueda ser utilizada en la mayoría de los rangos de edad, facilitando especialmente, el rango de edad de los adultos mayores.

El nombre del entorno será **ReActivate**, donde se utilizará la Realidad Aumentada (RA) junto con la detección o *tracking* de los movimientos del usuario, para crear juegos que motiven a los usuarios a realizar actividad física, teniendo como principal foco las limitaciones de los adultos mayores.

Este entorno será accesible mediante un navegador web posibilitando que pueda ser ejecutado desde multitud de dispositivos, y permitirá realizar actividad física mediante exergames que ayuden a mantener a las personas mayores a seguir activas, incluyendo técnicas de gamificación para mejorar la motivación extrínseca de los participantes y herramientas para almacenar y visualizar el progreso de los usuarios.

1.1 Competencias

En esta sección se enumeran y detallan las competencias específicas a adquirir:

- **[CE1] Capacidad para la integración de tecnologías, aplicaciones, servicios y sistemas propios de la Ingeniería Informática, con carácter generalista, y en contextos más amplios y multidisciplinares.**

ReActívate es un entorno que integra el uso de la web para desplegar y mantener videojuegos, la detección de los movimientos corporales del usuario captados mediante una cámara, y la interacción con objetos virtuales 2D que guían entrenamientos para motivar la realización de ejercicio en adultos mayores. Además, se incluyen distintos elementos multimedia como audio o vídeo para instruir su realización. Para esto, se necesita agrupar multitud de herramientas y servicios de contextos muy diferentes que permitan el desarrollo.

- **[CE4] Capacidad para modelar, diseñar, definir la arquitectura, implantar, gestionar, operar, administrar y mantener aplicaciones, redes, sistemas, servicios y contenidos informáticos**

Para la creación del entorno de videojuegos activos *ReActívate*, es necesario desarrollar, mantener y desplegar una aplicación web durante todas sus etapas, integrando distintas tecnologías en una sola arquitectura que permitirá crear exergames y mostrar la información del progreso de los usuarios.

- **[CE13] Capacidad para utilizar y desarrollar metodologías, métodos, técnicas, programas de uso específico, normas y estándares de computación gráfica**

Para el desarrollo de un entorno de videojuegos activos que utilice Realidad Aumentada, se utilizarán en la misma aplicación multitud de herramientas que aprovechan la computación gráfica para la creación objetos con los que se permitirá interaccionar, y que sirvan como guía para la realización de entrenamientos, navegación a través de los menús y consultas de información, utilizando programas gráficos específicos para modelar los objetos y técnicas para integrarlos de forma usable y accesible.

- **[CE14] Capacidad para conceptualizar, diseñar, desarrollar y evaluar la interacción persona-ordenador de productos, sistemas, aplicaciones y servicios informáticos.**

El entorno a desarrollar está centrado en la forma de interacción del usuario con el producto final, para que pueda ser accesible y se realice actividad física con una buena experiencia de usuario, pensando en las limitaciones de los adultos mayores. Para ello, será necesario definir, desarrollar y evaluar cómo controlar e interactuar con los elementos del entorno sin tener contacto físico con un controlador tradicional.

1.2 Estructura del documento

- **Introducción.** En este bloque se introduce al tema y se explica la necesidad que motiva el objetivo de este trabajo. También se especifica la estructura del presente documento.
- **Objetivos.** Se presentan las metas que se pretende conseguir con el desarrollo del presente TFM, formulando el objetivo y el alcance correspondiente a las hipótesis de trabajo. Del mismo modo, se establecen los objetivos parciales derivados del objetivo general y los resultados del trabajo.
- **Estado del arte.** Estudio descriptivo y comparativo sobre plataformas o aplicaciones de videojuegos activos disponibles en el mercado. También, se realiza un estudio descriptivo y comparativo de los principales frameworks Javascript para el desarrollo de videojuegos en la web.
- **Método de trabajo.** Descripción de la metodología aplicada al problema que se pretende resolver y justificación de su adecuación. También, se indican los medios utilizados y fases para la elaboración de este TFM.
- **Resultados.** Descripción de cómo se ha aplicado el método de trabajo presentado en el capítulo anterior, mostrando los resultados más importantes, las dificultades encontradas y como se ha abordado su resolución.
- **Conclusiones.** Resumen sobre los resultados que se han obtenido. Análisis del logro del objetivo general y objetivos parciales propuestos y, por último, propuesta de mejoras y ampliaciones futuras que podrían realizarse a partir del trabajo.
- **Referencias.** Material de consulta, listado de las obras y webs consultadas para la realización del TFM.
- **Anexo A.** Se muestra el repositorio del proyecto alojado en *Github*.
- **Anexo B.** Manual de usuario de la aplicación desarrollada en el contexto de este TFM.

En este apartado se ha introducido al tema y explicado la necesidad de la que surge el trabajo y la estructura general del presente documento. En el siguiente capítulo se exponen los objetivos, donde se presenta qué se pretende obtener una vez haya finalizado el desarrollo del presente TFM.

Capítulo 2

Objetivos

EN los objetivos se establecen las metas a conseguir con la realización del presente TFM, detallando el objetivo general y los objetivos específicos que se pretenden alcanzar con la realización de este trabajo.

Desde el punto de vista de la formación académica, la finalidad del TFM es realizar un trabajo personal en el que aplicar los conocimientos, experiencias, habilidades y competencias adquiridas durante el Máster.

A continuación, se describe el objetivo general y los objetivos específicos.

2.1 Objetivo general

El objetivo general de este TFM es el diseño, desarrollo, despliegue y validación de un entorno web orientado a dispositivos móviles que permita realizar exergames mediante el uso de realidad aumentada a personas mayores.

La finalidad es mejorar la calidad de vida a medida que las personas envejecen a través del ejercicio físico, motivado por técnicas de gamificación y utilizando realidad aumentada para guiar a los usuarios. Para ello, el sistema examinará el movimiento corporal mediante técnicas de tracking que permitan reconocer la realización del entrenamiento por parte del usuario.

A continuación, se introducen los objetivos parciales derivados del objetivo general y los resultados esperados.

2.2 Objetivos específicos

Los objetivos específicos de este TFM comprenden tanto las metas prácticas que se deben conseguir en la realización del trabajo, como el estudio previo que debe realizarse para conseguir una solución acorde con las necesidades del entorno a desarrollar. Estos sub-objetivos engloban las diferentes características que debe incluir el entorno.

2. OBJETIVOS

- **Estudio comparativo de tecnologías web de desarrollo de videojuegos y estudio de algunas plataformas existentes en la actualidad que tratan una problemática similar a la abordada.**

Para crear las mecánicas necesarias para guiar a los usuarios en la realización de los entrenamientos es necesario realizar un estudio de los motores web de videojuegos existentes que permiten conseguir los resultados esperados adecuándose a los objetivos que se pretenden conseguir. Además, el estudio de plataformas similares a la que se pretende desarrollar permitirá conocer las limitaciones existentes e inspirar las mejoras que se pretenden conseguir respecto a las aplicaciones actuales.

- **Creación y explotación de un entorno de realidad aumentada para la producción de exergames y distribución de contenidos multimedia en la web.**

El objetivo es desarrollar una arquitectura software que permita la creación modular de entrenamientos donde los usuarios estén guiados en la realización de secuencias de movimientos, atendiendo principalmente a la movilidad en el eje horizontal y vertical. Se creará un entorno de realidad aumentada que aproveche su inmersión para establecer objetivos virtuales que impliquen la actividad física del usuario para interactuar con ellos. Además, se aprovecharán recursos multimedia como música, efectos o imágenes para guiar a los usuarios y crear experiencias entretenidas que mejoren su adherencia a los entrenamientos.

- **Conceptualizar, diseñar y desarrollar técnicas de interacción persona-ordenador para facilitar la navegación por la interfaz gráfica y la información representada.**

El objetivo es conseguir una GUI usable y accesible que permita controlar e interactuar con los elementos del entorno sin necesidad de tener contacto físico con un controlador de videojuegos tradicional, utilizando principalmente las manos.

- **Implementación de técnicas de gamificación que permitan motivar a los usuarios al uso de la plataforma.**

Se desarrollarán mecánicas, como un sistema de puntuación y niveles, que fomenten la correcta realización de los ejercicios y sancionen los errores. También dinámicas, que motiven a los participantes, por ejemplo, a través de la narración por voz de mensajes motivadores y consejos durante la realización de los ejercicios.

Tras enumerar los objetivos que se pretende conseguir con el desarrollo del presente TFM, en el próximo capítulo, se abordarán los antecedentes, realizando un estudio descriptivo y comparativo de algunas de las principales plataformas de exergames disponibles en el mercado, y tecnologías web que permitan la construcción de los ejercicios a realizar por los usuarios del entorno.

Capítulo 3

Antecedentes.

EL objetivo de este capítulo es describir el contexto en el que se enmarca el presente TFM.

En primer lugar, se realiza un estudio comparativo de algunas plataformas de exergames que vinculan su uso con beneficios físicos y cognitivos en personas adultas. Todas las aplicaciones analizadas permiten realizar ejercicio físico teniendo un impacto positivo en la salud, pero no todas son igual de accesibles ni van dirigidas al mismo grupo de usuarios.

Por último, también se realiza un análisis de algunos de los motores de desarrollo de videojuegos web basados en Javascript. Un framework que permitirá facilitar la construcción de la aplicación de exergames, con el objetivo de encontrar las herramientas que se adapten mejor y faciliten su desarrollo.

A continuación, se realiza el estudio comparativo de plataformas de exergames.

3.1 Aplicaciones relacionadas con la temática del TFM

En la actualidad, existen numerosas plataformas que promueven la actividad física similares en propósito al entorno desarrollado en el presente TFM, pero la mayoría necesitan plataformas *hardware* poco accesibles, y poseen un *software* complejo para personas adultas, que requiere de largos periodos de formación y apoyo constante de un instructor.

A continuación, se incluye una revisión de algunos videojuegos que tienen como objetivo motivar la realización de ejercicio. Los videojuegos incluidos en este análisis han sido vinculados con beneficios físicos y cognitivos en personas adultas. El estudio de estos exergames permitirá tener una visión general del mercado actual en este ámbito, comprendiendo las dificultades a las que se enfrentan los usuarios en su uso, y determinando qué características van a permitir desarrollar un entorno más accesible para las personas mayores.

3. ANTECEDENTES.

3.1.1 Cardiowall landscape

Cardiowall landscape¹ es una herramienta *fitness* que permite realizar entrenamiento funcional a atletas, niños, adultos y personas con discapacidad en silla de ruedas. Se trata de un panel panorámico con marcadores *LED* y unos altavoces que indican las instrucciones. El objetivo es pulsar los marcadores para incrementar la puntuación.

Dispone de diferentes programas que retan al jugador a mejorar su balance, reflejos, realizar estiramientos e incluso realizar entrenamientos de alta intensidad. Cuenta con una pantalla que muestra la puntuación y tiempo restante del ejercicio, permitiendo también colaborar para hacer ejercicio grupalmente.

Es posible entrenar movimiento lateral, visión periférica, rapidez, resistencia, tiempo de reacción, coordinación ojo-mano y fuerza, permitiendo utilizar para pulsar los marcadores las manos, globos, pesas ligeras o balones medicinales, simulando así multitud de rangos funcionales de entrenamiento indicados para usuarios de cualquier edad y habilidad.

Cardiowall landscape tiene 4 juegos incluidos, pero también permite crear entrenamientos personalizados que permiten ajustar la rutina para usuarios con problemas de movilidad o requerimientos específicos. Aunque es una herramienta excelente para todo tipo de usuarios y permite infinidad de posibilidades de entrenamiento, se necesita un *hardware* muy caro, dirigido para lugares con mucha afluencia de personas. Es una herramienta claramente dirigida a empresas o centros sociales de entrenamiento o rehabilitación, más que para utilizarlo de forma individual en un domicilio.

Además, es poco accesible para personas mayores sin apoyo de un instructor, ya que el menú para elegir las diferentes opciones se realiza a través de la pulsación de los diferentes marcadores, siendo poco visual y limitado.

En la Figura 3.1 se muestra el dispositivo *hardware* y personas mayores realizando ejercicio con Cardiowall landscape.



Figura 3.1: Personas ejercitándose con CardioWall landscape

¹<https://www.rugged-interactive.com/rehab-wellness/rehab-wellness-products/cardiowall-landscape/>

3.1.2 Wii Sports and Wii Fit

Wii Sports² y Wii Fit³ son videojuegos de deportes creados por Nintendo que tienen como objetivo que el jugador utilice movimientos, detectados por periféricos externos, para completar ejercicios motivados por la consecución de diferentes desafíos.

Estos desafíos tienen un formato de minijuego, por ejemplo, una carrera, jugar al beisbol, tenis, boxeo, esquí, etc. Wii Sport utiliza como periféricos 2 mandos que el usuario controla con las manos. Wii Fit utiliza una base que detecta la posición de los pies y la presión del usuario sobre la base.

La videoconsola Wii es una de las más vendidas de la historia y, además, su coste no es elevado. Por este motivo, muchos usuarios pueden acceder a estos exergames, que en numerosos estudios y artículos han reportado ser beneficiosos para la salud, tanto física como mental.

En el artículo “Effects of using Nintendo Wii exergame in older adults” [YYC15] se agrupan los resultados de 22 estudios empíricos, y se sintetiza el impacto del uso de los exergames de Nintendo Wii en adultos. Prestando especial atención a los efectos de los ejercicios de la Wii en la cognición, la función física y los resultados psicosociales en adultos. Los efectos positivos incluyeron la mejora de la función física, la disminución de la depresión y el aumento de la cognición y la calidad de vida en los adultos. También se informó de la mejora de la socialización y la motivación para hacer ejercicio.

La Figura 3.2 muestra a personas mayores realizando ejercicio físico mediante los videojuegos de la videoconsola Nintendo Wii.



Figura 3.2: Personas ejercitándose con videojuegos de Wii Sports y Wii Fit

²<https://www.nintendo.es/Juegos/Wii/Wii-Sports-283971.html>

³<https://www.nintendo.es/Juegos/Wii/Wii-Fit-283894.html>

3. ANTECEDENTES.

3.1.3 FarmUp (Kinect)

FarmUp⁴ es un exergame dirigido a adultos creado por el grupo de investigación noruego Norut. Los juegos tienen una temática de granja, donde los movimientos del usuario permiten recolectar alimentos, regar las plantas, y otras actividades relacionadas con la agricultura.

El objetivo del juego es mantener motivados y activos a los adultos mediante ejercicios basados en el equilibrio, fuerza y resistencia. Utiliza tecnología persuasiva para que se produzcan cambios de comportamiento y videojuegos serios. Además, se monitoriza la progresión del usuario, lo que permite evaluar la utilidad de la herramienta.

Para la detección del movimiento se utiliza una cámara Xbox Kinect, y para la visualización de los juegos una gran pantalla. Siendo necesaria una inversión económica si no se dispone de este material.

FarmUp pretende abordar todos los obstáculos que impiden a las personas mayores mantenerse activas y mantener su calidad de vida hasta bien entrada la tercera edad, desarrollando soluciones que involucren a las personas mayores en el ejercicio diario, y les ayuden a superar su falta de motivación y el miedo a las lesiones.

En Figura 3.3 se puede ver como personas de la tercera edad realizan ejercicio físico con FarmUp.



Figura 3.3: Personas ejercitándose con FarmUp

3.1.4 OhShape

OhShape⁵ es un videojuego de realidad virtual (RV) que consiste en esquivar obstáculos, golpear muros y hacer poses divertidas al ritmo de la música para superar niveles, permitiendo crear mapas customizados ampliando así las posibilidades del juego.

El uso de la (RV) permite añadir profundidad al juego, consiguiendo una mayor inmersión. OhShape ayuda a mejorar la flexibilidad, fuerza y equilibrio.

⁴<https://fitnessgaming.com/news/health-and-rehab/norut-introduces-new-kinect-game-for-elderly.html>

⁵https://www.oculus.com/experiences/quest/2522558964527688/?locale=es_ES

Además, dispone de modos cooperativos, lo que ayuda a la mejora de la socialización y motiva a superar al resto de compañeros, ya que se obtienen puntuaciones por la realización de los ejercicios y dispone de una tabla de clasificación global.

OhShape no tiene como público objetivo las personas mayores, pero la progresión de niveles y la posibilidad de reducir el grado de dificultad permite que lo pueda aprovechar cualquier tipo de público.

Por otro lado, es necesario utilizar lentes (RV) para jugar, y estas, pueden ser incómodas a la hora de realizar deporte, costosas y necesitan de un *hardware* que pueda soportar computacionalmente la tecnología. También pueden producir mareos en algunos usuarios. Actualmente, se han realizado algunos estudios en juegos similares como Beat Saber para determinar si el uso de exergaming con tecnología (RV) puede producir efectos adversos [AML20] y no se han hallado pruebas sólidas de síntomas adversos más allá del mareo que puede provocar en algunos jugadores.

Estas son algunas de las barreras potenciales a vencer, pero la inmersión que ofrece esta tecnología y el poder a la hora de motivar a las personas a realizar deporte ayudará a que cada vez, tanto el *software* como *hardware*, sea más accesible para todo el público.

La Figura 3.4 muestra como se vería una persona ejercitándose con OhShape, y su perspectiva en primera persona jugando al videojuego.



Figura 3.4: Personas ejercitándose con OhShape

3.2 Comparativa de los entornos analizados

La motivación de este proyecto surge de la necesidad de mejorar la accesibilidad con la que los mayores pueden acceder a un entorno de exergames para realizar ejercicio físico. Por tanto, el objetivo es tratar de desarrollar un entorno web de exergames accesible que no necesite de *hardware* costoso. Permitiendo realizar videojuegos que requieran ejercicio, y que motiven un envejecimiento activo mediante mecánicas basadas en la accesibilidad.

Al contrario que la gran parte de plataformas analizadas en este Capítulo, el entorno podrá ser accedido mediante la web y solo requerirá de una cámara para realizar el *tracking* del esqueleto de la persona. Dará soporte a una interacción gestual con los menús para acceder

3. ANTECEDENTES.

a los diferentes juegos y, además, los juegos incorporarán mecanismos de gamificación para motivar la realización de los ejercicios.

La Tabla 3.5 muestra una comparativa de los aspectos más relevantes de las plataformas analizadas en esta sección. Entre los criterios de comparación se consideran aquellos relacionados con la accesibilidad *software* y *hardware*, la gamificación y aspectos sociales o competitivos que motiven la superación de los ejercicios. A continuación, se detallan dichos criterios:

- **Dirigido a personas mayores:** El entorno tiene como objetivo que sea utilizado por personas mayores, comprendiendo la brecha digital existente entre las generaciones más jóvenes y ancianas, y la dificultad de los más mayores a la hora de utilizar aparatos tecnológicos. Para ello, el entorno debe proporcionar mecanismos de interacción accesibles y, facilitar mediante guías comprensibles, como se debe ejecutar y realizar los diferentes exergames.
- **Navegación por la aplicación accesible:** Gran parte de los entornos existentes para realizar ejercicio mediante videojuegos no están adaptados para que alguien no habituado con el uso de las tecnologías comprenda rápidamente como utilizarlo. Es necesario que el entorno proporcione mecánicas fáciles de comprender, visualmente intuitivas y consistentes a través del entorno.
- **Periodo de formación breve:** Para ello, se proporcionan guías de uso comprensibles por todo el público objetivo de la plataforma, por ejemplo, a través de vídeos explicativos que ejemplifiquen cómo se debe utilizar el entorno.
- **Aspectos sociales:** La socialización tiene un impacto directo en la motivación para hacer ejercicio, y los entornos que incluyen herramientas que permiten socializar, además de mejorar la actividad física, mejoran la salud mental.
- **Técnicas de gamificación:** La gamificación en videojuegos activos tiene como objetivo la introducción de mecánicas que inciten a los usuarios a participar en la actividad física. La gamificación ayuda a que los usuarios vean más entretenidos los exergames y sean más persistentes en el uso del entorno.
- **No Requiere hardware específico:** Este criterio indica que no se debe realizar una inversión económica para una plataforma *hardware* necesaria para ejecutar el entorno. Es común que un usuario pueda tener un ordenador, una televisión o un dispositivo móvil, pero es menos usual que disponga de un aparato Xbox Kinect o unas gafas de RV. Por tanto, en este criterio valorará si el entorno necesita *hardware* específico.
- **Ejecutable en smartphones:** El entorno puede ser ejecutado en smartphones, aprovechando su cámara y permitiendo transmitir la imagen a través de un televisor para una mejor visualización.

Entorno Criterio	ReActivate	FarmUp	Cardiowall landscape	Wii Sports & Wii Fit	OhShape
Dirigido a personas mayores	★	★	★	—	—
Navegación accesible	★	★	—	—	—
Periodo de formación breve	★	★	★	—	—
Aspectos sociales	★	—	★	★	★
Técnicas de gamificación	★	★	★	★	★
No requiere hardware específico	★	—	—	—	—
Ejecutable en smartphones	★	—	—	—	—

Figura 3.5: Comparativa de los entornos analizados

Todas las plataformas expuestas en la tabla comparativa utilizan gamificación para motivar a los usuarios a que completen los juegos, siendo un punto muy importante que debe utilizarse para mejorar la adherencia de los jugadores. También, la mayoría utiliza herramientas sociales que ayudan a que los usuarios puedan evaluar su progreso frente al resto o ellos mismos, haciendo más divertido los juegos y motivando la mejora al tener que superarse. Pero en la tabla comparativa se pueden distinguir claramente 2 grupos de aplicaciones.

En primer lugar, las dirigidas a personas mayores, como ReActívate, FarmUp o CardioWall Landscape, diseñadas desde el comienzo entendiendo las limitaciones y necesidades del grupo al que van dirigidas. Estas plataformas entienden que los usuarios de edad avanzada deben entender cómo se deben ejecutar los ejercicios, y realizan un esfuerzo por explicar el funcionamiento del sistema y los distintos juegos, para que el usuario aprenda rápidamente como interaccionar con el entorno y como realizar los exergames de forma óptima.

El segundo grupo son los exergames de público general, Wii Sports/Fit y OhShape, que van más enfocados a un público joven en contacto habitual con las tecnologías, siendo menos accesible para personas poco habituadas con los videojuegos y con menús complejos no adaptados a las necesidades de un grupo de usuarios de avanzada edad. Donde el objetivo principal es la diversión y no ayudar a mejorar aspectos concretos de la salud.

3.3 Tecnologías Web

En esta sección se realizará un estudio de tecnologías y herramientas que dan soporte al proceso de desarrollo del entorno web de exergames. Las tecnologías web modernas y navegadores permiten hacer videojuegos web con buen rendimiento.

Además, existen numerosos motores de desarrollo de videojuegos web basados en Javascript que facilitan la construcción de las aplicaciones. El objetivo de esta sección es realizar un estudio comparativo entre diferentes frameworks Javascript para desarrollo de videojuegos que permitan agilizar el proceso de desarrollo.

MelonJS

MelonJS⁶ es un motor de juego de Javascript ligero open-source y compatible con los principales navegadores, también en dispositivos móviles. Tiene un motor de física 2D integrado, lo que permite la detección de colisiones y movimientos en 2D sin mucho trabajo. También tiene soporte para la api de sonido que permite agregar efectos y música.

De forma nativa integra un editor de mapas que es open-source, permite utilizar WebGL. Además, tiene un buen soporte de la comunidad y la documentación es intuitiva, estructurada y comprensible, permitiendo encontrar información del motor fácilmente.

Por otro lado, durante las últimas versiones ha sido habitual las interrupciones de la api entre los cambios de versión. Lo que lo hace menos confiable que otros motores.

BabylonJS

Babylon⁷ es motor de juego y renderizado potente y simple empaquetado en un framework Javascript. Su objetivo es permitir la creación de videojuegos web destinados a cualquier navegador eliminando la complejidad de las plataformas para que el desarrollador se pueda centrar en crear experiencias para todos los jugadores en la web.

Entre sus ventajas se encuentra la posibilidad de probar las herramientas en un entorno de ensayo que permite experimentar rápidamente con mediante un editor. También dispone de un fuerte apoyo de la comunidad, un código que se actualiza con frecuencia y multitud herramientas de terceros que complementan el framework, como por ejemplo el soporte de renderizado PBR. Además, es utilizado y apoyado por marcas como *Microsoft* y *Adobe*.

Entre sus inconvenientes está la falta de madurez, ya que el primer lanzamiento fue en 2013, lo que lo hace joven en comparación con otros competidores, y su escasa documentación de la api. También es un framework que ofrece muchas posibilidades, pero es más complejo que otros, siendo menos adecuado para proyectos pequeños.

PlayCanvas

PlayCanvas⁸ WebGL Game Engine usa HTML5 y WebGL para ejecutar videojuegos y otro contenido 3D interactivo en cualquier navegador de escritorio y móvil. Es gratis y open-source, y se enfoca más en el motor de videojuegos que en motor de renderizado, por lo que es útil para crear juegos 3D.

Por tanto, el objetivo principal de PlayCanvas es el desarrollo de videojuegos web, siendo su foco principal el desarrollo para plataformas móviles. El motor permite compilar de forma muy rápida y tiene un motor de física de balas integrado, lo que lo hace ideal para videojuegos que incluyan esta mecánica.

⁶<https://www.melonjs.org>

⁷<https://www.babylonjs.com>

⁸<https://playcanvas.com>

Por otro lado, PlayCanvas tiene características avanzadas de WebGL disponible solo en algunos navegadores. También tiene proyectos privados de pago, por lo que de forma gratuita el código y los activos se alojan públicamente. Otro inconveniente es que los tutoriales y documentación para PlayCanvas son escasos, por lo que la curva de aprendizaje es más pronunciada.

PhaserJS

Phaser⁹ es un motor de juego multiplataforma que permite crear un solo juego y compilarlo para múltiples plataformas, pudiendo transferir el juego a código nativo para iOS y Android usando herramientas de terceros como Cordova.

Soporta de forma nativa Typescript para el desarrollo de juegos, lo que permite construir un código más robusto y fácil de mantener. También suporta WebGL, y si el navegador no lo soporta, utiliza Canvas. Tiene una enorme lista de plugins que permiten desarrollar de forma más rápida y su enfoque es principalmente para el desarrollo de juegos.

Además, la comunidad es muy extensa y aporta mucho conocimiento en forma de tutoriales y documentación, se actualiza de forma constante y al ser un framework open-source la comunidad aporta contenido día a día. Su ventaja más destacada frente a otros es que necesita un tiempo de aprendizaje más corto, siendo fácil crear juegos en poco tiempo.

Entre sus inconvenientes está que no tiene 3D implementado nativamente, aunque se puede añadir mediante un plugin.

Comparativa de los frameworks de desarrollo de juegos web analizados

Para cumplir con las necesidades del proyecto es necesario que el framework de desarrollo facilite construir las funcionalidades clave que permiten dar solución a la motivación del presente TFM. Para comparar los distintos frameworks analizados en este capítulo, a continuación, se detallará en base a qué criterios se evalúa a las diferentes opciones analizadas:

- **Motor de físicas:** Hace posible aplicar aproximaciones físicas a los videojuegos para que tengan una sensación más realista de interacción de los objetos con el entorno. Es decir, es el encargado de realizar los cálculos necesarios para que un objeto simule tener atributos físicos como el volumen, peso, gravedad o aceleración. Para realizar un exergame es necesario aplicar estas físicas a los distintos elementos para que el usuario pueda interaccionar con estos.
- **Motor de sonido:** En los videojuegos es una parte importante, ya que es el encargado de cargar las pistas de música y efectos. El sonido ayuda a que el usuario realice el ejercicio a un ritmo determinado, y también sirve para obtener retroalimentación sobre el impacto de distintos elementos, haciendo comprensible la interacción.

⁹<https://phaser.io>

3. ANTECEDENTES.

- **Fiable y mantenible:** La mantenibilidad no es una propiedad binaria, es algo continuo. Es el tiempo que le toma a un desarrollador un cambio y el riesgo de que el cambio rompa algo, también la legibilidad o el acoplamiento contribuyen a la mantenibilidad. Este criterio alude a la compatibilidad que tiene el framework con tecnologías que permitan mantener la propiedad de robustez y mantenibilidad lo más fácil posible. Por ejemplo, la compatibilidad con typescript, que al añadir tipados estáticos y objetos basados en clases consigue mejorar la fiabilidad, refactorización y tener un código estructurado, lo que al final contribuye a una mayor fiabilidad y un código mantenible.
- **Curva rápida de aprendizaje:** Un framework tendrá una curva de aprendizaje más rápida que otro cuando el código preconstruido que ofrece sea comprensible, organizado y manejable. También cuando sea fácilmente testeable, para entender qué hace cada uno de los componentes. También está íntimamente relacionado con la documentación que existe, ya que ejemplos sobre el uso de los componentes y una documentación amplia permite que el aprendizaje sobre el framework sea más rápido.
- **Multiplataforma:** La mayoría de framework soportan compatibilidad con múltiples navegadores y, por tanto, es posible ejecutar los juegos realizados con estos motores en los dispositivos que dispongan de un navegador web compatible, pero el criterio multiplataforma utilizado en esta comparación también hace referencia a la capacidad de transformar, gracias a herramientas, el código desarrollado para navegadores a código nativo para plataformas móviles.

En la Tabla 3.6 se muestra la comparativa de los frameworks analizados. Como se puede observar, todas las herramientas analizadas permiten construir una aplicación que responda a las necesidades del presente TFM, pero PhaserJS es la que destaca en la mayoría de los apartados y dispone de multitud de ejemplos y documentación que facilitan que el desarrollador de videojuegos web agilice el desarrollo con resultados comparables al resto.

Criterio \ Entorno	PhaserJS	PlayCanvas	BabylonJS	MelonJS
Motor de físicas	★	★	★	★
Motor de sonido	★	★	★	★
Fiable y mantenible	★	★	★	—
Curva rápida de aprendizaje	★	—	—	★
Multiplataforma nativo	★	★	—	—

Figura 3.6: Comparativa de las tecnologías web analizadas

Capítulo 4

Método de trabajo

EL método de trabajo describe la estrategia que se ha seguido para la consecución de los objetivos marcados en el TFM. Debido a los requerimientos del proyecto y, el punto de partida respecto al desarrollo bajo las tecnologías a utilizar, la metodología debe permitir un trabajo en el que se añadan nuevas características y funcionalidades incrementalmente, aprendiendo de este proceso para crear nuevos módulos que aporten valor al proyecto, realizando los objetivos mientras se mantiene una flexibilidad en el ritmo de desarrollo.

En este capítulo se indica la metodología de trabajo, planificación, así como, los medios y herramientas utilizados.

4.1 Desarrollo iterativo e incremental

El desarrollo de ReActívate ha seguido una metodología inspirada en el modelo de desarrollo iterativo e incremental, que es una combinación del diseño iterativo y el modelo de construcción incremental para el desarrollo. Fue por primera vez utilizado en el *software* para desarrollar el sistema de mando y control de un submarino en los años 70 [LB03].

El propósito fundamental que existe en la mejora iterativa es desarrollar un sistema *software* incrementalmente, aprovechando lo aprendido durante el desarrollo de las versiones anteriores. Ese aprendizaje vendrá tanto del desarrollo del sistema como de su uso en las etapas tempranas del *software*. La clave del desarrollo iterativo es empezar con la implementación de un subconjunto de requisitos y mejorar iterativamente la evolución de versiones hasta que el sistema esté implementado. En cada iteración se harán modificaciones en el diseño a la vez que se añaden nuevas funcionalidades.

Por otra parte, el desarrollo incremental, es aquel en el que con cada entrega, terminamos una pieza más del sistema, y no lo podemos considerar terminado hasta que se entrega la última pieza [GR04].

Por tanto, en un desarrollo iterativo e incremental con cada entrega se añaden funcionalidades nuevas (incremento), pero cada uno de estos incrementos también incluye mejoras sobre las funcionalidades que ya existían (iterativo).

4. MÉTODO DE TRABAJO

Esta metodología se adapta muy bien al tipo de desarrollo y la planificación utilizada, ya que, el plan puede adaptarse según lo que se aprenda. Debido a que no se tenía experiencia previa con la mayoría de tecnologías utilizadas para la realización del proyecto, es muy útil que en función del aprendizaje se adapten los incrementos, ya que, aunque se realice un análisis previo, una vez que se empieza a construir una solución con una tecnología que no se ha utilizado, se abren nuevas posibilidades previamente desconocidas sobre las características que te permite desarrollar una herramienta.

Gracias a la metodología iterativa e incremental es posible adaptar los próximos incrementos, y con la retroalimentación después de cada incremento se puede ir entregando valor al mismo tiempo que se mejoran iteraciones previas.

En la Figura 4.1¹ se puede visualizar un esquema del proceso de desarrollo iterativo e incremental, donde se parte de un plan inicial de la iteración y, para esta, se analizan sus requerimientos, se diseña, se implementa, se prueba y por último se evalúa antes del despliegue de la iteración.

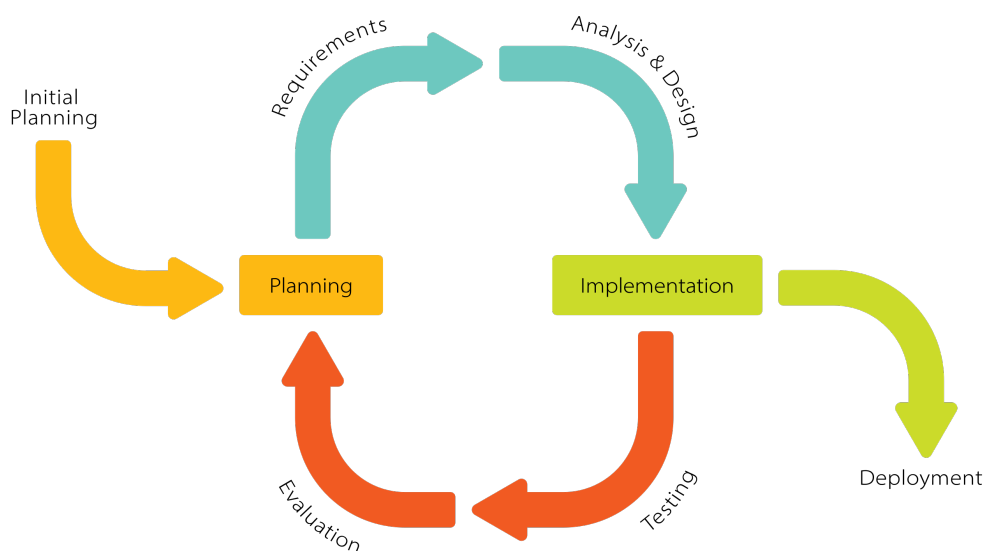


Figura 4.1: Proceso de desarrollo iterativo

En la siguiente sección, se desglosan las iteraciones en las que se ha dividido el proyecto siguiendo el enfoque iterativo e incremental. Además, se especifican los objetivos que se han alcanzado en cada una de las iteraciones y el espacio temporal que han ocupado durante la realización del presente TFM.

¹https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Iterative_Process_Diagram.svg

4.2 Planificación y distribución del trabajo

En esta sección se especifican los diferentes bloques en los que se divide el proyecto y su distribución temporal durante la realización del presente TFM. Cada bloque corresponde con una de las iteraciones del modelo iterativo incremental siguiendo con la metodología expuesta en el apartado anterior.

- **Iteración 0 - Arquitectura y preparación del entorno:** Se define la arquitectura del entorno y se prepara para el desarrollo.
- **Iteración 1 - Menú principal:** Menú que permite acceder a los distintos exergames y herramientas del videojuego.
- **Iteración 2 - Mecánicas de juego:** Mecánicas principales de juego que comparten los diferentes exergames. El objetivo es construir una arquitectura genérica que permita reutilizar las mecánicas en los diferentes videojuegos.
- **Iteración 3 - Videojuego “Cardio”:** Juego activo que estimule la realización de ejercicio aeróbico.
- **Iteración 4 - Videojuego “Agilidad”:** Juego activo que motive el desarrollo de la habilidad de cambiar la posición del cuerpo de manera eficaz.
- **Iteración 5 - Videojuego “Flexibilidad”:** Juego activo que trabaja la flexibilidad, que es la capacidad que tiene una articulación para realizar un movimiento articular con la máxima amplitud posible.
- **Iteración 6 - Histórico y estadísticas:** Visualización de información que permita conocer los resultados históricos y estadísticas al usuario tras su utilización de los distintos exergames.

En la Figura 4.2 y 4.3 se muestra el calendario y carga de trabajo planificado para la realización de las distintas iteraciones:

Nombre del bloque	Fecha de inicio	Fecha fin	Tiempo estimado
Iteración 0	15/06/2021	31/06/2021	25 horas
Iteración 1	01/07/2021	21/07/2021	30 horas
Iteración 2	22/07/2021	08/09/2021	60 horas
Iteración 3	09/09/2021	05/10/2021	30 horas
Iteración 4	06/10/2021	10/11/2021	30 horas
Iteración 5	11/11/2021	19/12/2021	30 horas
Iteración 6	20/12/2021	10/01/2022	20 horas

Figura 4.2: Tabla de fechas de desarrollo

4. MÉTODO DE TRABAJO

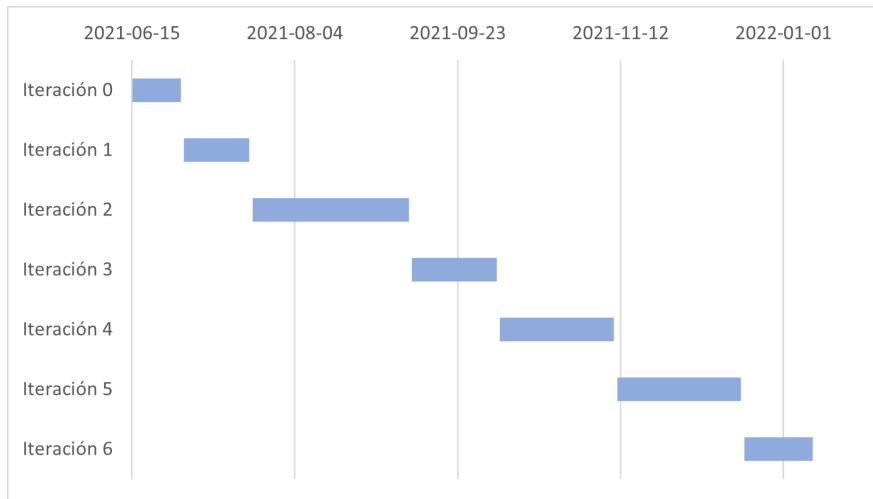


Figura 4.3: Cronograma de desarrollo

4.3 Medios empleados para el desarrollo

En esta sección se exponen los medios que se han utilizado para llevar a cabo el presente TFM. En primer lugar, se especifican los medios *hardware* utilizados para el desarrollo y despliegue del software construido. Después, se detallan los medios *software* requeridos para el entorno desarrollado.

4.3.1 Medios hardware

En relación al *hardware* utilizado, se ha hecho uso de un ordenador con cámara web para desarrollar el entorno y un smartphone para realizar las pruebas. A continuación, se describen las características:

Dispositivo Móvil

- **Modelo:** Oneplus 8T
- **Unidad central de procesamiento (CPU):** Qualcomm Snapdragon 865 5G
- **Unidad de procesamiento gráfico (GPU):** Adreno 650
- **Memoria de acceso aleatorio (RAM):** 8Gb
- **Pantalla:** 6.55"Fluid AMOLED
- **Sistema operativo:** Android 11

Ordenador

- **CPU::** AMD Ryzen 3600 3.6 Ghz
- **GPU:** Nvidia RTX 2060 Super
- **RAM:** 16Gb DDR4
- **Sistema operativo:** Windows 11
- **Camara Web:** TedGem 1080p

4.3.2 Medios software

En esta sección se resumen los medios *software* que se han utilizado para la realización de este proyecto, los cuales se ven plasmados en la Figura 4.4.



Figura 4.4: Herramientas y tecnologías utilizadas en el desarrollo del TFM

- **Phaser²**: es un framework basado en Javascript para crear videojuegos HTML en 2D para entornos de escritorio y dispositivos móviles.
- **Typescript³**: es un lenguaje de programación de código abierto creado por *Microsoft*. Es un subconjunto de Javascript que principalmente añade objetos y tipos estáticos.
- **Mediapipe⁴**: es un marco multiplataforma de *Google* para crear soluciones basadas en Machine Learning personalizables. Mediapipe pose es uno de estos resultados, que permite realizar una detección del cuerpo.
- **Visual Studio Code⁵**: editor de código fuente potente y ligero, desarrollado por *Microsoft*. Es gratuito y de código abierto. Visual Studio Code soporta una amplia variedad de lenguajes de programación, entre ellos Typescript, y se actualiza regularmente con nuevos plugins.
- **Visual Paradigm⁶**: herramienta de soporte al modelado visual de los sistemas de información empresarial y gestión de los procesos de desarrollo. Permite generar diagramas para establecer la conexión entre los distintos elementos del desarrollo.

²<https://phaser.io>

³<https://www.typescriptlang.org>

⁴<https://mediapipe.dev>

⁵<https://code.visualstudio.com>

⁶<https://www.visual-paradigm.com>

4. MÉTODO DE TRABAJO

- **Github**⁷: es una plataforma de desarrollo colaborativo de *Microsoft*, que permite crear un repositorio para el código fuente del proyecto, así como controlar las diferentes versiones con Git. Además, permite alojar una web estática mediante github pages.
- **Mendeley**⁸: aplicación que permite gestionar y compartir referencias bibliográficas y documentos de investigación. Mendeley está desarrollado por *Elsevier* y, tiene tanto una aplicación de escritorio como un plugin para el navegador, que permite extraer referencias.
- **Microsoft Teams**⁹: plataforma de comunicación de *Microsoft*. Permite compartir archivos y realizar reuniones telemáticas de voz y texto para realizar el seguimiento del proyecto.
- **Figma**¹⁰: aplicación que permite diseñar GUIs. Figma funciona en línea y permite la colaboración en tiempo real en el área de trabajo. Esta aplicación también permite crear prototipos y objetos 2D.
- **Overleaf**¹¹: servicio de Latex online que funciona como editor permitiendo escribir, editar y publicar documentos científicos. Esta herramienta se ha utilizado para elaborar la documentación del proyecto.
- **Blender**¹²: es un conjunto de herramientas de gráficos 3D que se utiliza para crear películas de animación, efectos visuales, arte, modelos impresos en 3D, gráficos en movimiento, aplicaciones 3D interactivas, realidad virtual y juegos de ordenador. Es gratuita y de código abierto.
- **Audacity**¹³: es un editor y grabador de audio gratuito. Permite convertir entre diferentes formatos de audio y añadir y crear efectos al sonido grabado.
- **Vegas Pro**¹⁴: vegas Pro es un software de edición de vídeo para PC. Tiene un flujo de trabajo fácil, lo que facilita su uso para principiantes. Es una herramienta de pago, aunque tiene un periodo de prueba.

⁷<https://github.com>

⁸<https://www.mendeley.com>

⁹<https://www.microsoft.com/es-es/microsoft-365/microsoft-teams/group-chat-software>

¹⁰<https://www.figma.com>

¹¹<https://www.overleaf.com>

¹²<https://www.blender.org>

¹³<https://audacity.es>

¹⁴<https://www.vegascreativesoftware.com/us/vegas-pro>

Capítulo 5

Resultados

En este capítulo se detallan los resultados obtenidos en la realización del proyecto. Este bloque de contenido está dividido en un apartado inicial que detalla la arquitectura del proyecto, y 5 iteraciones, que siguen la metodología explicada en el Capítulo 4.

Cada una de las iteraciones se divide en sub-secciones que abordan desde un enfoque problema-solución-ventajas las distintas fases del proceso iterativo, especificando los requisitos iniciales de la iteración, el análisis y diseño, la implementación, y por último, las pruebas y evaluación antes de cada despliegue. Las funcionalidades se exponen en este apartado en orden cronológico de desarrollo, ya que algunas iteraciones son posibles gracias al uso de componentes *software* de iteraciones anteriores.

En el Anexo A se incluye un vídeo demostración¹ de los resultados finales conseguidos tras el desarrollo de ReActívate.

5.1 Arquitectura y preparación del entorno

La arquitectura software del proyecto define la estructura, el funcionamiento general y la interacción entre las distintas partes que componen el entorno ReActívate. En primer lugar, se procede a definir la estructura del proyecto.

Estructura del proyecto

El proyecto está organizado siguiendo la siguiente jerarquía de directorios:

- **Public:** directorio que contiene los recursos y la versión empaquetada de la aplicación.
 - **Assets:** recursos multimedia, incluye audio, fuentes tipográficas e imágenes.
 - **Vendor:** scripts externos que no se deben compilar, contiene los WebAssembly de mediapipe pose.
 - **Index:** fichero HTML base, sirve como índice del sitio web.
- **Scripts:** contiene scripts necesarios para el desarrollo de la aplicación, por ejemplo, el instalador local de los WebAssembly de mediapipe pose.
- **Src:** archivos Typescript que componen la aplicación.

¹<https://youtu.be/T4YS5OcfodA>

- **Gameobjects:** clases personalizadas que extienden de `Phaser.GameObjects`.
- **Modals:** Interfaces subordinadas a la ventana principal de la aplicación.
- **Pose-Tracker-Engine:** contiene las utilidades de `mediapipe` pose necesarias para la utilización de la cámara y la detección del cuerpo.
- **Scenes:** contiene las distintas escenas en las que está dividido el videojuego.

Entorno ReActívate

En esta sección se explica el funcionamiento general y los distintos componentes que intervienen en ReActívate, con el objetivo de proporcionar un contexto y visión general de cómo funciona el entorno y la interacción de los distintos elementos.

Reactívate es un entorno que permite jugar a videojuegos activos mediante el uso de Realidad Aumentada y la detección del cuerpo humano mediante *Mediapipe pose*², que es una solución de Machine Learning (ML) para el seguimiento de la pose corporal.

El usuario entra al entorno a través de la web y encuentra un menú donde se ven representadas las posibilidades que permite el entorno, principalmente, el acceso a los videojuegos activos. Para ejecutar correctamente los juegos será necesario activar la cámara que se esté utilizando, con la finalidad de que el entorno pueda realizar el seguimiento del cuerpo y resolver qué acción quiere realizar el usuario. El entorno implementa un sistema de control basado en gestos que permite interactuar con los distintos elementos. De este modo, el usuario puede entrar a los videojuegos sin utilizar *hardware* como un ratón o un teclado.

Una vez el usuario accede a alguno de los videojuegos activos, se le instruirá a través de audio sobre los objetivos y pasos que debe realizar para ejecutar los ejercicios de forma correcta. Los exergame son generados bajo una misma arquitectura común, que permite instanciar las bases de interacción entre el usuario y los marcadores, pero cada juego es independiente y sigue unas mecánicas que permiten ofrecer diferentes objetivos. Los videojuegos activos consisten en motivar el movimiento del usuario para que realice movimientos específicos al tocar con sus manos o piernas los objetivos que aparecen en la interfaz.

La interacción con estos marcadores conlleva un movimiento específico del cuerpo que cambiará dependiendo del tipo de ejercicio, por ejemplo, en el exergame de cardio, se fomentará mediante la aparición continua de objetivos que el usuario se mueva horizontalmente hacia ellos para alcanzarlos, gamificando mediante niveles, puntuación y sonido su desplazamiento a un ritmo sostenido. Sin embargo, en el ejercicio de agilidad, se motivará la realización de movimientos verticales, como la sentadilla y cambios de dirección rápidos.

En la Figura 5.1 se representa el funcionamiento general mediante un diagrama de estados. Se ha elegido este tipo de representación ya que ayuda a visualizar el ciclo de vida del entorno y el comportamiento del sistema ante diferentes acciones que puede elegir el usuario.

²<https://google.github.io/mediapipe/solutions/pose.html>

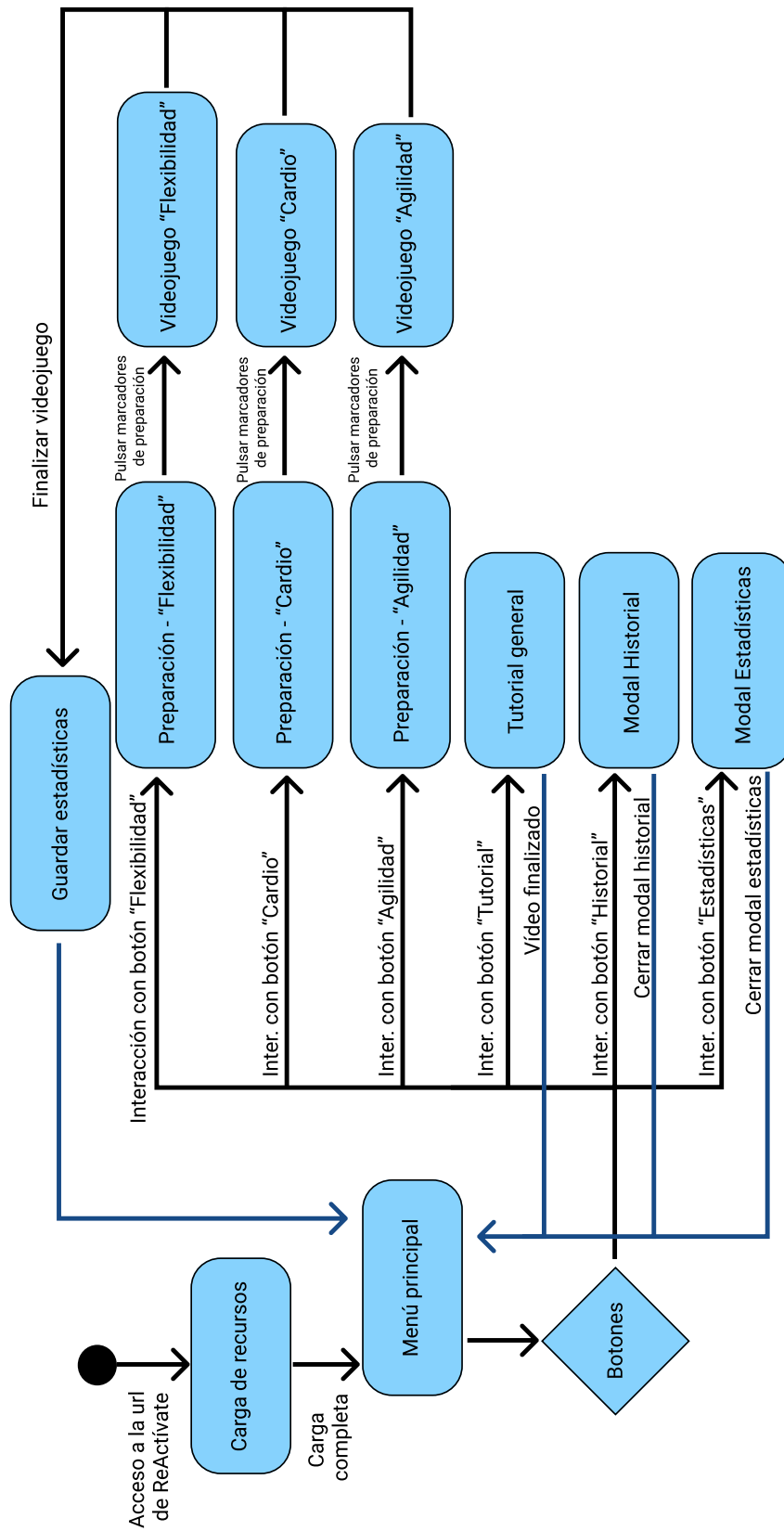


Figura 5.1: Diagrama de estados de ReActívat​​e

5. RESULTADOS

Una vez especificado el flujo que sigue el usuario al interactuar con ReActívaté, a continuación, se detallan las funcionalidades del entorno.

Para la construcción del *software* ha sido necesario documentar los requisitos que nos permitan identificar cuáles son las funcionalidades del sistema y definir su alcance.

Para ello, se ha construido un diagrama general de casos de uso, que permite describir de forma gráfica las funcionalidades más importantes del sistema. Con el objetivo de definir cómo va a responder el sistema a las necesidades del actor o usuario que utilice ReActívaté. Cada uno de los casos de uso se corresponderá con un requisito funcional. En la Figura 5.2 se expone el diagrama:



Figura 5.2: Diagrama de casos de uso

Una vez detallado cómo funciona el entorno, su estructura y funcionalidades, se procede a describir cómo se ha implementado cada una de las iteraciones del proyecto.

5.2 Iteración 1 - Menú principal

Un menú es un conjunto de opciones que se muestra al usuario de una aplicación informática para ayudarle a encontrar información o ejecutar acciones. En ReActívate, el menú debe permitir el acceso a las diferentes funcionalidades. A continuación, se especifica el problema que supone la creación del menú principal.

Iteración 1 - Problema

En esta sección se especifican los requerimientos funcionales y no funcionales, que permiten definir de forma específica la solución al problema que plantea desarrollar un sistema de interacción con el entorno, ofreciendo múltiples alternativas y, entre ellas, alguna que permita navegar por el sistema sin que los usuarios tengan que utilizar ningún dispositivo físico, ya que podrían estar alejados del *hardware* que lo ejecuta. Los requisitos funcionales detallan los servicios que prestará el sistema, mientras que los no funcionales son propiedades, características y restricciones establecidas en el diseño e implementación.

Los requisitos responden a las necesidades del entorno, y están alineados con los objetivos. En la iteración 1, se analizan los problemas del usuario referentes al uso del menú, que es utilizado para el acceso a las diferentes funcionalidades. En la tabla 5.1 y 5.2 se transforma la problemática que se pretende resolver en esta iteración a requisitos detallados.

Requisito	Descripción
RF01. Control gestual	El usuario podrá navegar y acceder a las distintas opciones a través del menú mediante gestos con las manos.
RF02. Control táctil	El usuario podrá navegar y acceder a las opciones a través del menú mediante la interacción táctil con el panel de la pantalla en la que se esté ejecutando la aplicación.
RF03. Control hardware	Los usuarios podrán navegar y acceder a las opciones en el menú interaccionando con los botones mediante un ratón.
RF04. Previsualización	Se mostrará una previsualización del videojuego para que el usuario conozca a que sección del entorno va a acceder.

Cuadro 5.1: Requisitos funcionales de la iteración 1

Requisito	Descripción
RNF01. Mantenibilidad	El sistema debe ofrecer una representación gráfica que permita la inserción y modificación en los accesos del menú.
RNF02. Usabilidad	La interacción del usuario con el menú para acceder a las distintas opciones debe ser comprensible, ofreciendo <i>feedback</i> sobre las acciones que está realizando el usuario.
RNF03. Usabilidad	El sistema debe proporcionar mensajes que sean informativos y orientados al usuario.

Cuadro 5.2: Requisitos no funcionales de la iteración 1

5. RESULTADOS

Una vez especificados los requisitos que debe cumplir el sistema para solventar el problema planteado, es decir, el acceso a los distintos contenidos de la aplicación mediante un menú, se procede a detallar cómo se ha construido la solución final:

Iteración 1 - Solución

La solución de la iteración 1 abarca tanto el diseño de la GUI elegida para satisfacer el problema presentado en la sección anterior, como su implementación, donde se detalla cómo se ha construido el menú mediante componentes *software* dirigidos a proporcionar la solución final adaptada a las necesidades detectadas.

Para modelar los requisitos relacionados con las GUI se ha utilizado la herramienta *Figma*, que permite representar mediante un boceto (prototipo de baja fidelidad), la GUI asociada al menú. En la Figura 5.3 se muestran el boceto diseñado para la iteración 1.

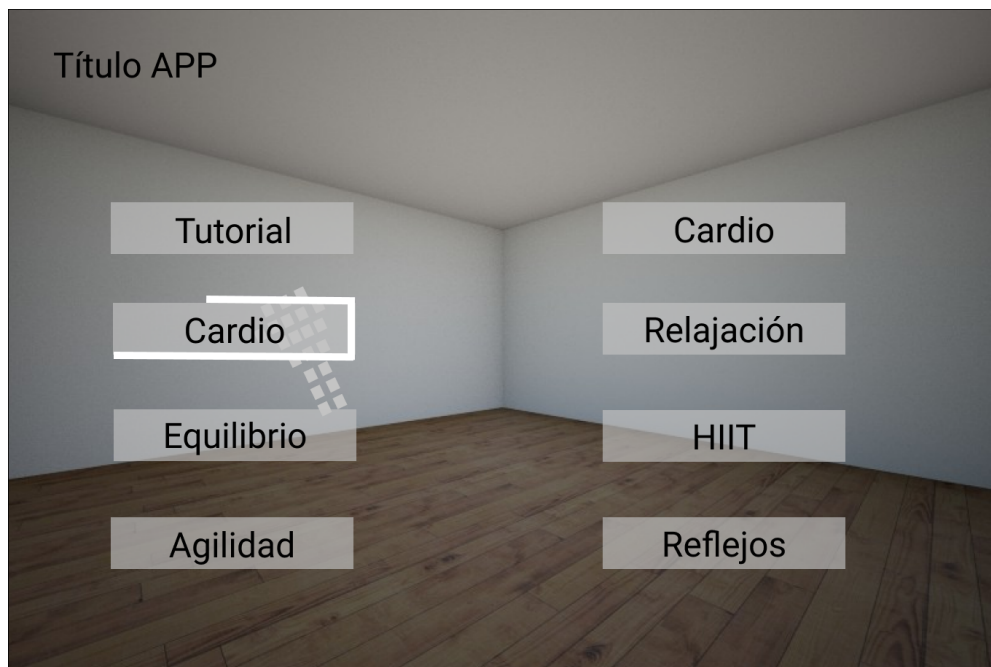


Figura 5.3: Boceto de la interfaz de usuario del menú

El boceto del menú pretende cumplir con requisitos no funcionales como el de mantenibilidad (RNF.01), al poder reutilizar los componentes que forman un botón para añadir distintos accesos desde el menú. Y también de usabilidad, RNF.02 y RNF.03, presentando *feedback* sobre la pulsación de los botones y proporcionando mensajes que orienten al usuario en el uso del menú.

Botones reutilizables

Para cumplir el requisito no funcional RNF.01, se ha desarrollado, gracias a la posibilidad de utilizar programación orientada a objetos con tipos de datos personalizados, un objeto botón, que hereda de un objeto de tipo “Container” de Phaser. Dentro de este botón se ha añadido todo su comportamiento como, por ejemplo, la animación de llenado cuando se

está interaccionando, el vaciado cuando no, o la posibilidad de deshabilitar el botón o no en función de los requerimientos de la interfaz.

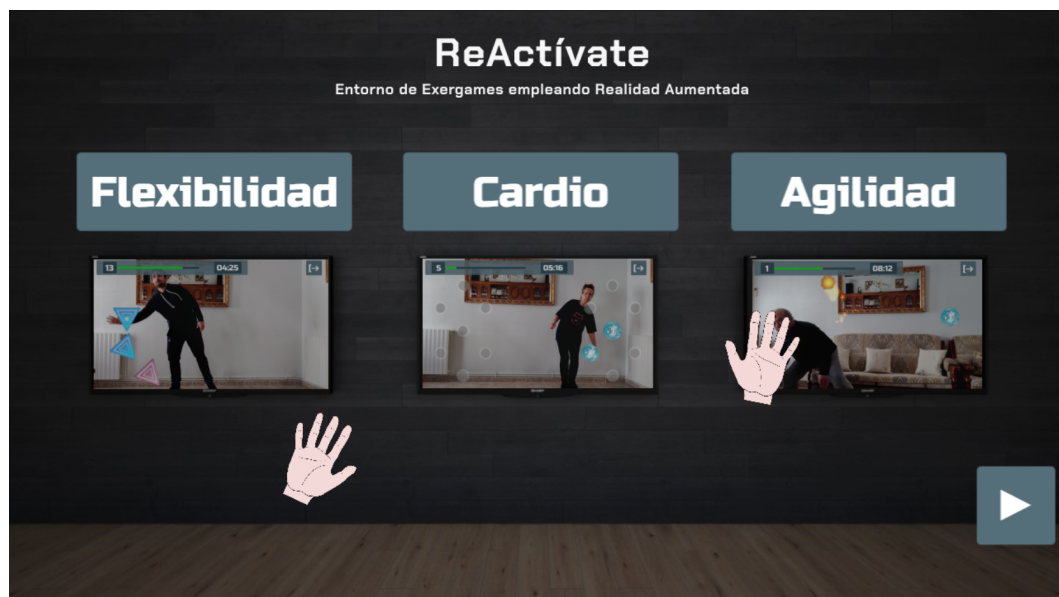
Además, como datos de entrada el objeto recibe la textura del botón, su tamaño y el texto que va a imprimir en su interior, consiguiendo que el objeto pueda adaptarse a todas las situaciones que requiere el entorno y no solo en el menú, pudiendo implementarlo en cualquier escena que requiera el control mediante botones. Esto permite reutilizar el mismo objeto en botones de acceso, botones de navegación para moverse por el menú y para cerrar un modal o videojuego. Al compartir una lógica común que cumple con los requisitos establecidos, se ve beneficiada la mantenibilidad y la agilidad en el desarrollo de la aplicación.

Escalabilidad y previsualización del contenido al que se accede

En primer lugar, se han añadido imágenes para la previsualización de los exergames en las televisiones añadidas al espacio virtual. De esta forma, el usuario conocerá a qué juego está accediendo no solo por su nombre, sino teniendo una ayuda visual que le permita identificarlo.

En segundo lugar, se ha desarrollado, mediante un generador de escenas 3D, un fondo “infinito”, donde al pasar de una sección a otra de la interfaz de menú, mediante una animación, simulase el movimiento de un usuario a través de una sala para ver más contenido. Gracias a este fondo y su animación, es posible añadir tantas pantallas de acceso como se desee, mejorando la escalabilidad del sistema.

En la Figura 5.11 se muestra el resultado final de la iteración 1, compuesta por 2 pantallas de menú, que pueden ser alternadas gracias a botones de navegación, que activan la transición entre estas y el cambio en los botones de acceso.



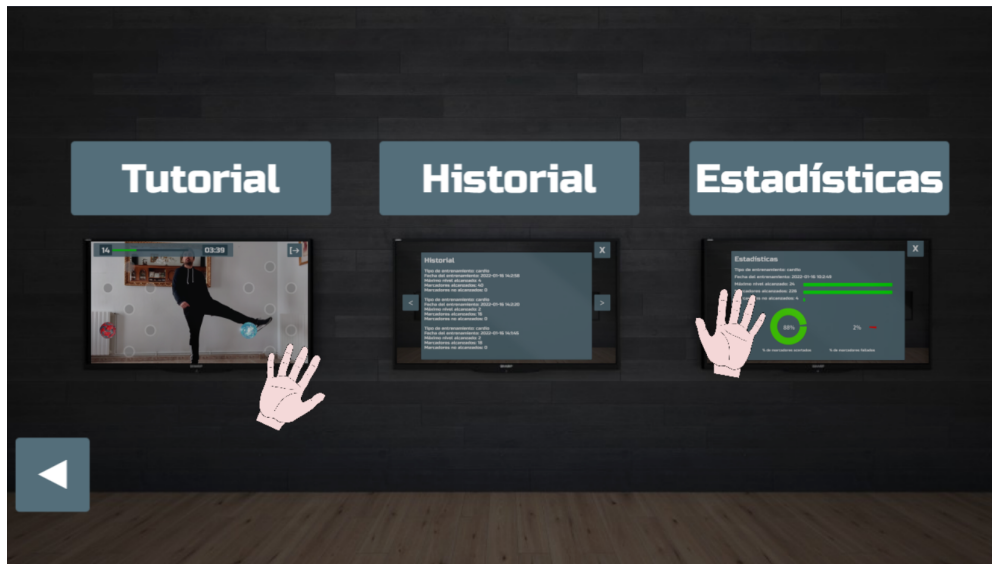


Figura 5.4: Menú de ReActívate

Una vez detalladas algunas de las funcionalidades más importantes relativas al menú, se comentan las ventajas que se han encontrado en la implementación tras la validación con usuarios que aporta la solución creada.

Iteración 1 - Ventajas

En términos de usabilidad y mantenibilidad, la utilización de controles gestuales aporta las siguientes ventajas:

1. Permite al usuario mantener la distancia correcta desde la cámara a la posición de juego durante toda la navegación y realización de ejercicios.
2. Permite desarrollar la comprensión en la interacción con los elementos del entorno en todas las fases, mejorando el aprendizaje para realizar los exergames de forma correcta.
3. La retroalimentación ante la interacción del usuario con los elementos facilita la comprensión a la hora de navegar y acceder a las diferentes secciones del entorno.
4. El uso de elementos virtuales para representar las manos del jugador en el menú principal ayuda a comprender que acciones está tomando el usuario.
5. La fuente utilizada para los textos y símbolos, y el tamaño utilizado para los botones mejora la usabilidad del menú, aprovechando la interfaz y facilitando su uso en el rango de edad objetivo.
6. La previsualización de los ejercicios permite facilitar la elección al usuario, ofreciendo una alternativa visual a un texto plano.
7. La creación de un objeto común para toda la interacción en el menú, además de impactar beneficiosamente en la curva de aprendizaje, ha permitido agilizar el proceso de desarrollo.

5.3 Iteración 2 - Mecánicas de juego

La segunda iteración se centra en analizar, diseñar y generar las bases de interacción y control con las que el jugador realizará ejercicios para mantenerse activo. Las mecánicas del juego son las reglas que rigen y guían las acciones del jugador, así como la respuesta del juego a las mismas, generando los mecanismos necesarios para establecer cómo funciona el juego para las personas que lo juegan.

Iteración 2 - Problema

Como se introduce en esta sección, es necesario resolver el problema de interacción entre el jugador y el juego. Esta interacción debe tener unos patrones comunes para mejorar la curva de aprendizaje del jugador y facilitar la jugabilidad. Además, también es muy importante a la hora de crear los diferentes exergames, ya que, establecer unas bases comunes que puedan instanciarse en cada uno de los juegos permite ahorrar tiempo de desarrollo, funcionando por igual a través de los diferentes videojuegos activos.

Además, estas bases comunes no restringen la variedad de los juegos, ya que las mecánicas rigen la interacción pero ofrecen la suficiente libertad para integrarlas en entornos diferentes. Es necesario resolver el problema de la interacción del jugador con el juego utilizando componentes *software* instanciables como base. Esta necesidad de una base común se transforma en los siguientes requisitos, detallados en las Tablas 5.3 y 5.4, que cumplen con las exigencias de interacción entre el jugador y el sistema.

Requisito	Descripción
RF01. Interacción con marcadores	El usuario podrá interaccionar con marcadores 2D que guiarán el movimiento del jugador.
RF02. Animación de marcadores	Los marcadores 2D estarán animados para dar <i>feedback</i> de su estado.
RF03. Expiración de marcadores	Los marcadores utilizados para los distintos juegos utilizarán una lógica común y personalizable respecto al tiempo que permanecen en pantalla si el usuario no interacciona con estos.
RF04. Sonido	La interacción con un marcador ofrecerá sonidos personalizados dependiendo de la validez de la interacción.
RF05. Preparación	Se creará una interfaz común para todos los entrenamientos que indique la posición que debe tomar el jugador y permita iniciar el entrenamiento.
RF06. HUD	Se utilizará un Head-Up Display para proyectar información relevante sobre el exergame al que se está jugando.
RF07. Mensajes motivadores	Se reproducirán audios motivadores como elemento de gamificación ante la consecución de distintos eventos.

Cuadro 5.3: Requisitos funcionales de la iteración 2

5. RESULTADOS

Requisito	Descripción
RF01. Mantenibilidad	Los componentes <i>software</i> utilizados para las mecánicas de juego deben ser reutilizables para los distintos juegos.
RNF02. Usabilidad	La interacción con el sistema debe proporcionar retroalimentación en pantalla al jugador.
RF03. Software	Para la detección corporal se utilizará la biblioteca de mediapipe pose.
RF04. Seguridad	Se solicitará permiso al usuario para acceder a la cámara web del dispositivo.

Cuadro 5.4: Requisitos no funcionales de la iteración 2

Una vez detallados los requisitos funcionales que deben cumplir las mecánicas de juego desarrolladas, se procede a explicar la solución realizada que satisface dichos requisitos.

Iteración 2 - Solución

En esta sección se explicará el diseño e implementación de la iteración 2.

Marcadores y objetivos

En ReActívate, llamamos “objetivos” a los elementos virtuales 2D interaccionables en pantalla que guían el movimiento del usuario para realizar secuencias de ejercicios. Estos elementos son instanciables, reutilizables y personalizables. Los objetivos se posicionan por encima de los marcadores, que predisponen donde puede aparecer un objetivo. Estos han sido diseñados para cumplir con los requisitos: RF01, RF02, RF03, RF04, RNF01 y RNF02.

En la Figura 5.5 se observan 45 marcadores, que son los elementos 2D de color gris sobre los que se establecen objetivos interaccionables. En algunos juegos los marcadores serán visibles, mientras que en otros, solo serán visibles los objetivos a interaccionar, reutilizando los marcadores con diferentes metas de diseño e implementación.

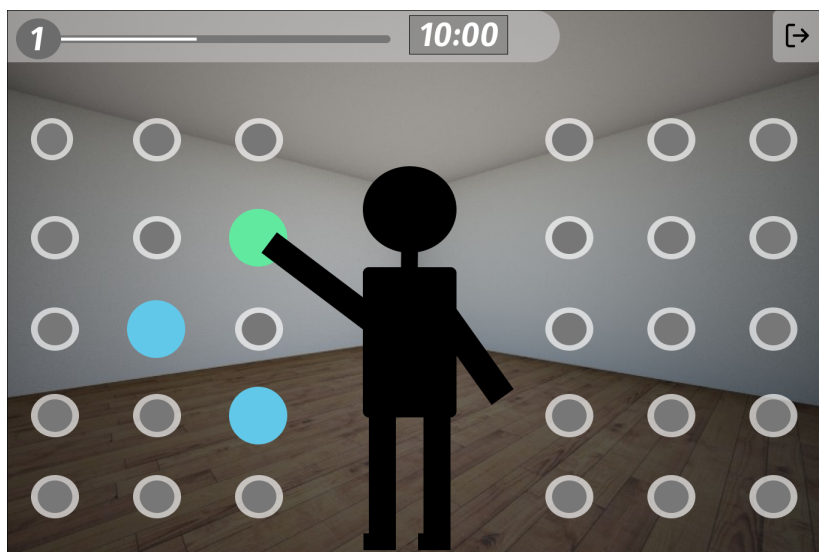


Figura 5.5: Boceto de marcadores, objetivos y HUD

Los marcadores son instancias del objeto "marker", creado para cumplir con el RNF01. El objeto marker extiende del objeto de Phaser "Physics.Arcade.Sprite". Arcade Physics contiene métodos útiles para mover y rotar cuerpos, resolviendo la física de los marcadores para cumplir con el RF02 y crear animaciones.

Algunos de los métodos generados que componen el objeto marker son: "createAnimation", que crea y anima el objetivo superpuesto al marcador. También inicia el temporizador que controla el tiempo que estará en pantalla el objetivo y "destroyMarkerAnimation", que elimina el objetivo superpuesto, crea una animación que proporciona retroalimentación de su borrado, gestiona el sonido en la destrucción y reestablece el estado del marcador.

La posición que toman los marcadores en pantalla viene definida en cada uno de los videojuegos, ya que cambiará para favorecer distintos movimientos en el usuario. Para la creación de los marcadores se ha utilizado *Figma*, y para la creación de los objetivos interaccionables se ha usado *Blender*, ya que permite crear objetos 3D, que al transformarlos a 2D para el juego, seguirán conservando una sensación de profundidad. En la Figura 5.6 se observa una imagen de la implementación final del marcador y objetivos creados para los juegos.



Figura 5.6: Diseño final de marcadores y objetivos

HUD

En los videojuegos, se llama Head-Up Display (HUD) a la información que en todo momento se muestra en pantalla durante la partida. En ReActívale, el HUD muestra el tiempo restante para que finalice el exergame, el porcentaje de experiencia conseguido en el nivel actual y el nivel (RF05).

Debido a que las características de la información utilizada en el HUD es igual para todos los exergames, cumpliendo con el RNF01, se hace necesario crear un módulo que permita añadir el HUD instanciándolo en cada uno de los juegos sin duplicar el código. Para ello, se utiliza una escena de Phaser. En la Figura 5.5 se observa el diseño del HUD.

Una escena en Phaser es una pantalla de juego que mantiene su propio flujo de ejecución de manera independiente. Phaser permite la ejecución de varias escenas al mismo tiempo y, gracias a eventos, permite comunicar una escena con otra. Por tanto, dentro de un exergame

existen 2 escenas ejecutándose al mismo tiempo, la escena que contiene toda la lógica del juego, y una escena que contiene la lógica del HUD. Los eventos que se han definido son los siguientes:

- **UpdateEXP:** La escena que contiene el juego llama al evento actualizar experiencia, que se encarga de registrar el nuevo valor de experiencia del juego y repintar el gráfico de barra de experiencia. Para pintar este gráfico se utiliza el método “setExpBar” y “updateExp”, cuyo funcionamiento implica no solo repintar el valor de experiencia nuevo, sino calcular valores intermedios entre el valor antiguo y el nuevo para que la transición visual de la barra de experiencia de un valor a otro sea suave.
- **UpdateClock:** Se encarga de actualizar el tiempo restante al comienzo del juego dependiendo del exergame seleccionado.
- **stopAudioInit:** Antes de comenzar un juego y durante su ejecución, se ha establecido la reproducción de audios que instruyan al jugador sobre el funcionamiento de los videojuegos y les motive mientras entrenan, por ejemplo, explicando el funcionamiento del ejercicio antes de comenzar. Esta lógica se ha introducido en el HUD ya que es compartida por todos los exergames. Este evento se utiliza para avisar de que se debe pausar el audio. Un caso de uso sería cuando el jugador inicia rápidamente el juego sin esperar a que acabe el tutorial.

Además, gracias a la arquitectura basada en eventos añadir nuevos tipos de eventos que permitan comunicar la escena HUD con la escena de juego es muy sencillo, permitiendo escalar fácilmente la gamificación incluyendo nuevos tipos o llamando a los tipos de evento creados desde lógicas de juego diferentes. También, gracias al uso de la clase “constants”, en la que se definen los nombres de cada evento, la mantenibilidad general del sistema se ve incrementada disminuyendo la posibilidad de cometer errores de sintaxis.

Mediapipe pose

Mediapipe pose es una solución de Machine Learning (ML) para el seguimiento de la pose corporal. Utiliza MediaPipe BlazePose³, que se encarga de inferir 33 puntos de referencia 2D de un cuerpo a partir de un fotograma (Figura 5.7).

Gracias al uso de esta librería es posible el reconocimiento del usuario. En el directorio *src* del proyecto se encuentran las clases necesarias para la configuración, destacando “abstract-pose-tracker-scene”, que se encarga de crear la configuración, donde se puede especificar el valor mínimo de confianza del modelo para considerar que se ha detectado correctamente una nueva entrada. Pudiendo equilibrar la balanza entre una detección más robusta a costa de mayor latencia, o una detección más rápida, aunque pueda tener mayor error. Para este proyecto se ha reducido el valor de confianza por defecto, ya que, como el movimiento del usuario es constante y ágil, se necesita que detecte rápidamente los cambios.

³<https://ai.googleblog.com/2020/08/on-device-real-time-body-pose-tracking.html>

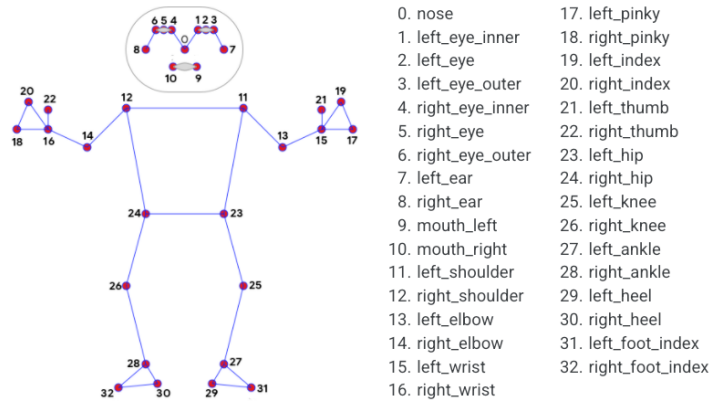


Figura 5.7: Puntos de referencia de Mediapipe pose

Otra clase importante es “pose-tracker”, que se encarga de construir la entrada de datos para el modelo, escribir los resultados y gestionar la información de la cámara, liberando recursos una vez finaliza la detección.

Los 33 puntos de referencia del cuerpo se almacenan en una estructura “IPoseTrackerResults”, dispuesta por mediapipe pose. Sin embargo, estos puntos referencia solo almacenan las coordenadas x e y de los puntos que detectan, pero es necesario que estos puntos puedan interaccionar con los elementos virtuales dispuestos en cada escena, ya que, aunque mediapipe provee una funcionalidad para dibujar en la interfaz los puntos detectados, estos no tienen físicas ni relación con los elementos creados gracias a Phaser.

Por tanto, para solucionar esta limitación, se ha creado “bodyPoints”, que es un vector de elementos *sprite* de Phaser. Cuando se construye la escena del videojuego, se crean tantos puntos de este tipo como puntos de referencia corporales detecta mediapipe pose. Gracias al método implementado “movePoints”, los puntos guardados en bodyPoints se reposicionan en tiempo real en la posición que indican los puntos generados por mediapipe pose. Gracias a que Phaser llama a la actualización de la escena 60 veces por segundo la latencia entre la detección y el reposicionamiento de los puntos no es perceptible, produciendo una experiencia muy fluida. A continuación, en el listado 5.1 se expone este método movePoints:

```
movePoints(coords: IPoseLandmark[] | undefined) {
    if (this.bodyPoints && coords) {
        for (var i = 0; i < this.bodyPoints.length; i++) {
            this.bodyPoints[i]?.setPosition(
                coords[i + 11]?.x * this.width, coords[i + 11]?.y * this.height);
        }
    }
}
```

Listado 5.1: Actualización de puntos corporales

En definitiva, Phaser solo puede aplicar físicas de colisión con sus propios objetos, y ha sido necesario generar una lógica eficiente y en tiempo real para solucionar este problema. A continuación, se exponen las ventajas encontradas debido a la implementación realizada.

Iteración 2 - Ventajas

La creación de unas mecánicas de juego reutilizables, personalizables y usables, aportan diferentes ventajas a la hora de generar un entorno de exergames, a continuación se detalla la aportación de valor que genera la solución creada:

1. La creación de un objeto marcador instanciable y personalizable permite asegurar la mantenibilidad del sistema, permitiendo su uso en los videojuegos para motivar el movimiento del jugador eliminando la complejidad de añadir marcadores extra.
2. Gracias a la lógica de animaciones, sonido y temporizador que incorporan los marcadores, el usuario se familiariza rápidamente con su uso, y debido a que son compartidos a través de los diferentes exergames, el cambio de un juego a otro no genera intimidación o incertidumbre.
3. Debido a que los marcadores extienden del objeto “Physics.Arcade” de Phaser es posible añadir animaciones y físicas que retroalimenten el estado de los objetivos y la interacción del jugador con estos, mejorando la usabilidad.
4. El uso de un HUD independiente de la escena del juego permite su reutilización para todos los exergames, y la adición de elementos comunes como la gamificación e instrucción a través de audio.
5. La biblioteca Mediapipe pose facilita la detección corporal del jugador y permite añadir elementos virtuales que interaccionen con los objetivos. A diferencia de otros enfoques, el rendimiento en tiempo real es un apartado donde destaca, permitiendo ejecutar el sistema en dispositivos con menor potencia de GPU.

5.4 Iteración 3 - Videojuego “Cardio”

La iteración 3 analiza, diseña e implementa el primer exergame de ReActívate. Este juego será accedido mediante el menú, explicado en la iteración 1, y basará su funcionamiento en las mecánicas construidas en la iteración 2.

Iteración 3 - Problema

El objetivo de este juego es que los adultos mayores realicen un ejercicio que aumente el ritmo respiratorio y cardíaco. Para ello, es necesario que el juego motive el movimiento horizontal con el propósito de mantener un ritmo constante y conseguir un trabajo cardiovascular del jugador mientras golpea objetivos en pantalla. Además, se debe establecer una mecánica para generar descansos, administrando el tiempo en el que el jugador se está moviendo. También, se debe buscar motivar el trabajo del aspecto físico y mental, promoviendo que el usuario tenga que pensar a la hora de golpear y coordinar los objetivos. En las tablas 5.5 y 5.6 se especifican los requisitos de este juego.

Requisito	Descripción
RF01. Gamificación	El usuario recibirá puntos que subirán su barra de experiencia y nivel. Además, se reproducirán mensajes motivadores durante el juego en base a los resultados parciales del jugador.
RF02. Música	Se reproducirá música mientras se realiza el exergame.
RF03. Disposición de objetivos	Se establecerá una lógica para fomentar la realización de cardio mediante una disposición específica de objetivos.
RF04. Aleatoriedad y dificultad	El sistema proveerá la aparición de objetivos aleatorio para que el usuario no sienta repetitivo el juego, y se establecerá un aumento progresivo de la dificultad.
RF05. Guardado de resultados	De forma automática, cuando un jugador realiza el videojuego activo de cardio, el sistema guardará sus estadísticas.

Cuadro 5.5: Requisitos funcionales de la iteración 3

Requisito	Descripción
RNF01. Usabilidad	La interacción con el videojuego “cardio” debe ser fluida y el sistema debe proporcionar retroalimentación en pantalla al jugador.
RNF02. Eficiencia	Una vez el usuario finaliza la actividad, antes de volver al menú, la escena de Phaser y música deben ser gestionados para no perjudicar el rendimiento general del sistema.

Cuadro 5.6: Requisitos no funcionales de la iteración 3

Una vez detallados los requisitos funcionales y no funcionales del exergame “cardio”, en la siguiente sección, se detalla la solución a estos requisitos especificando el diseño y la implementación utilizada para el juego.

Iteración 3 - Solución

La solución para el ejercicio cardiovascular debe cumplir con los requerimientos detallados en la sección anterior. Para ello, se ha diseñado una interfaz adaptada a los requisitos funcionales y no funcionales, puede observarse en la Figura 5.8.

Disposición de marcadores y objetivos

La disposición de los marcadores permite colocar objetivos dinámicos que motiven la movilidad del jugador. En el exergame de tipo cardio el objetivo es conseguir movilidad horizontal del usuario, de forma que tenga que moverse de un lado a otro precisando una respiración aeróbica.

Dentro de la clase “workout-cardio.ts” se almacena toda la lógica relativa a este tipo de entrenamiento. Para la correcta disposición en pantalla de los marcadores se utiliza el método “createLayout”, que se encarga de crear los marcadores necesarios para la escena, disponerlos de la forma diseñada y permitir la interacción de los objetivos creados con los puntos almacenados de la posición del jugador.

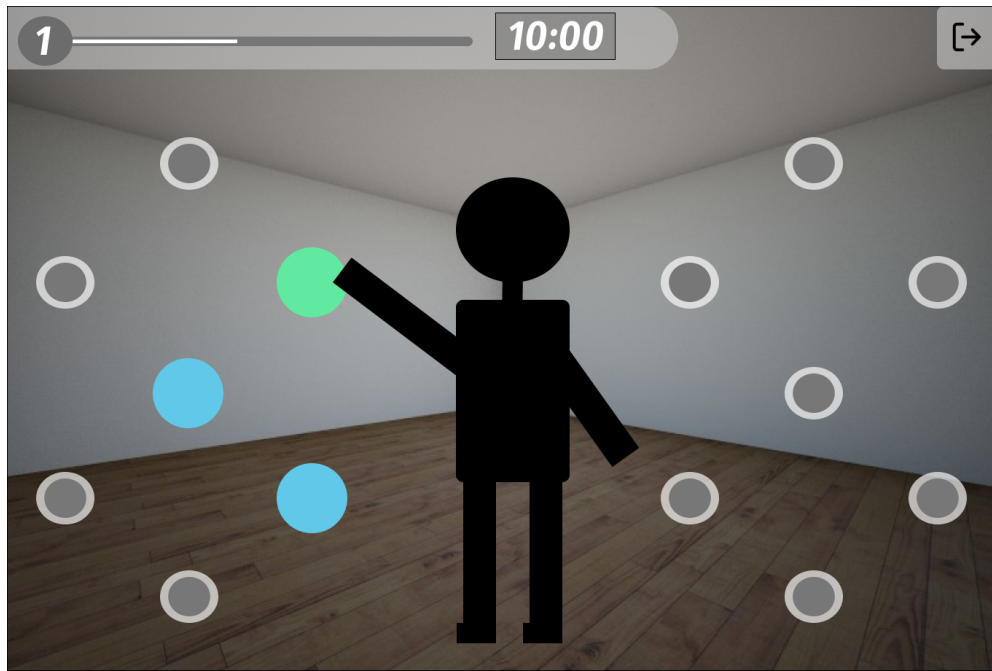


Figura 5.8: Boceto de la interfaz del exergame “cardio”

Para posicionar los marcadores en el ejercicio de cardio, se diferencia entre filas cortas y filas largas, las filas cortas son aquellas que disponen de 2 marcadores y las filas largas tienen 4. Para la colocación de los marcadores, se establece una lógica en la que al crear al marcador, la altura y anchura que se establece respecto al punto inicial (0,0), que es el borde superior izquierdo, se calcula respecto al anterior, colocándose a una distancia fija dependiendo del tipo de fila que toque, ya que van permutando para variar y crear la estructura deseada. Además de la colocación de los marcadores, también se debe definir la interacción entre los marcadores creados y los puntos de referencia de la posición del cuerpo que representan la posición en tiempo real del jugador.

En primer lugar, una vez colocado el marcador, se añade a un vector de objetos de tipo “Marker”, que se utilizará para gestionar la aparición de objetivos y el estado de los marcadores durante la ejecución del exergame. Después, gracias a la función “overlap” que proporciona las físicas de Phaser, se define que ocurre cuando uno de los puntos que almacenamos con la posición de nuestro cuerpo toca con uno de los marcadores, por ejemplo, si la mano toca con un marcador. Esto se puede observar en el fragmento de código 5.2:

```
this.markers.push(marker);
this.bodyPoints.forEach((point) => {
  this.physics.add.overlap(marker,point, (marker: any) => {
    if (marker.getAnimationCreated()) {
      marker.destroyMarkerAnimation(true);
      this.destroyMarker(marker, true);
    }, undefined, this);});});
```

Listado 5.2: Lógica de contacto entre marcador y punto corporal

Si la animación del marcador este activa y existe un objetivo, se llama a la función “destroyMarker” que se encargará de gestionar qué debe ocurrir ante tal interacción, manejando las variables que controlan cuantos objetivos hay activos, la puntuación a añadir o disminuir al interaccionar con estos y la emisión de eventos para actualizar la puntuación y el nivel.

Aleatoriedad y gestión de la dificultad

Una vez detallado cómo se posicionan los marcadores, y de qué forma se consigue conocer cuando el cuerpo del jugador interacciona con un objetivo, a continuación, se detalla la lógica implementada para la aparición de objetivos y cómo se gestiona la dificultad.

En primer lugar, para establecer objetivos aleatorios, cada vez que se crea un nuevo objetivo se hace en base a una probabilidad estática de que el marcador sea erróneo o no, hay un 15 % de probabilidad de que sea de fallo, y una probabilidad dinámica de que la aparición de objetivos sea múltiple. A mayor nivel, mayor probabilidad de que existan objetivos múltiples o no. Y si hay objetivos múltiples, el máximo de objetivos es 3, y antes del nivel 5 solo 2 con el fin de no abrumar al jugador. El propósito de introducir objetivos que no se deben tocar es proporcionar pequeños descansos y al mismo tiempo fomentar el desarrollo cognitivo que conlleva mantener la concentración para distinguir cuando debe interaccionar.

Además, la aparición del objetivo en uno de los marcadores también será aleatoria, siendo no predecible donde aparecerá el siguiente y siendo obligatoria la aparición en un marcador diferente al último interaccionado. Para motivar el movimiento rápido del usuario de un lado a otro, los objetivos desaparecen cada 5,5 segundos, reduciendo la puntuación si no se ha llegado a tocar y era un objetivo a destruir, o aumentándola si era un marcador de tipo error y no se ha tocado. Este tiempo ha sido considerado el adecuado tras pruebas con adultos mayores para conseguir un ejercicio aeróbico. La propia progresión del jugador y la mejora en el aspecto físico y psicomotriz será recompensada con lograr un mayor nivel. Por último, en la Figura 5.9 se presenta el diseño final del exergame “cardio”:

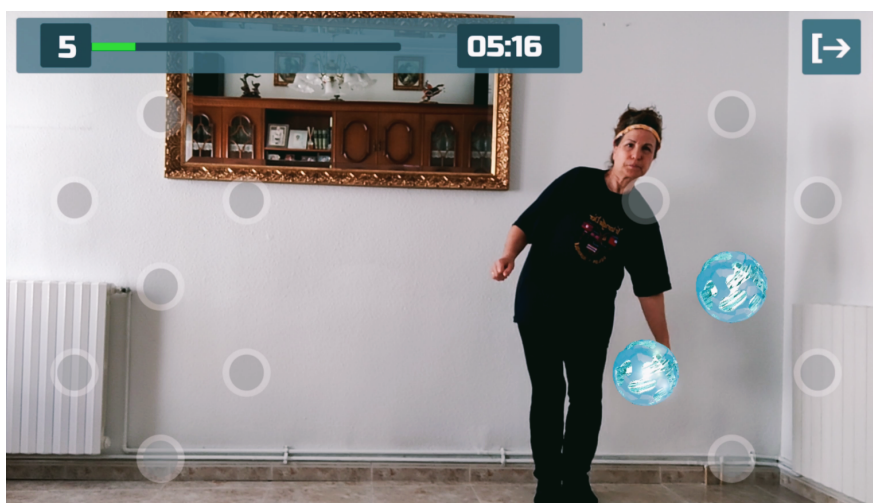


Figura 5.9: Videojuego Cardio

Iteración 3 - Ventajas

Las decisiones en el análisis, diseño e implementación aportan las siguientes ventajas:

1. El uso de gamificación en ReActívate aumenta la motivación, atención y la concentración de los jugadores durante la realización de los ejercicios. El uso en el exergame “cardio” de puntuación, niveles y mensajes de audio, proporciona retroalimentación sobre la progresión del jugador y si está realizando correctamente el ejercicio. Además, la música utilizada eleva el estado de ánimo y ayuda a mantener el ritmo.
2. Para conseguir un trabajo cardiovascular exigente y adaptable al jugador, ha sido necesario combinar distintas características. En primer lugar, la disposición de los marcadores fomenta el trabajo en el eje horizontal, motivando que el usuario se desplace de un lado a otro para alcanzar los objetivos, que expiran después de unos segundos con el propósito de acelerar el movimiento. Además, los niveles marcan la dificultad del ejercicio y, por tanto, dependiendo del estado físico de un jugador, este se mantendrá en niveles adecuados a su ritmo y condición, haciendo jugable el videojuego activo para todos los usuarios.
3. El uso de la aleatoriedad mantiene el juego dinámico y rejugable, ya que la secuencia de objetivos no está predefinida y la experiencia puede ser repetida sin conocer donde aparecerá el siguiente blanco a interaccionar.

5.5 Iteración 4 - Videojuego “Agilidad”

El segundo videojuego activo creado para el entorno ReActívate es “Agilidad”. La agilidad se define como la capacidad física de una persona para cambiar de dirección de manera rápida y precisa en el menor tiempo posible. En los adultos mayores esta habilidad se ve deteriorada, el objetivo de este exergame es, extendiendo las mecánicas implementadas en la iteración 2, permitir al jugador realizar ejercicios de acondicionamiento que motiven la realización de movimientos relacionados con la mejora y mantenimiento de la agilidad.

Iteración 4 - Problema

Debido a la naturaleza del entorno, la cámara puede captar el movimiento de jugador y su interacción con los objetivos 2D que se imprimen en pantalla, al no poder trabajar con un espacio tridimensional, es necesario buscar alternativas en la jugabilidad para motivar movimientos en el jugador que impliquen el ejercicio físico en distintos ejes. El exergame “agilidad” busca solucionar las carencias del videojuego “cardio”, fomentando el desplazamiento vertical y los cambios de dirección. Esto se realizará mediante la introducción de un elemento móvil que otorgue dinamismo a la escena forzando al jugador a realizar estos movimientos. A continuación, en la Tabla 5.7 y 5.8 se especifican los requisitos funcionales y no funcionales a los que se ajusta el entrenamiento de agilidad.

Requisito	Descripción
RF01. Gamificación	El usuario recibirá puntos que subirán su barra de experiencia y nivel. Además, se reproducirán mensajes motivadores durante el juego en base a los resultados parciales del jugador.
RF02. Música	Se reproducirá música mientras se realiza el exergame.
RF03. Disposición de objetivos	Se establecerá una lógica para fomentar movimientos de agilidad mediante una disposición específica de objetivos.
RF04. Aleatoriedad y dificultad	El sistema proveerá la aparición de objetivos aleatorio para que el usuario no sienta repetitivo el juego, y se establecerá un aumento progresivo de la dificultad.
RF05. Elemento móvil	Se utilizará un objeto móvil virtual gamificado en pantalla para motivar al usuario a cambiar de dirección y realizar movimientos verticales y horizontales.
RF06. Guardado de resultados	De forma automática, cuando un jugador realiza el videojuego activo de agilidad, el sistema guardará sus estadísticas.

Cuadro 5.7: Requisitos funcionales de la iteración 4

Requisito	Descripción
RNF01. Usabilidad	La interacción con el videojuego “agilidad” debe ser fluida y el sistema debe proporcionar retroalimentación en pantalla al jugador.
RNF02. Eficiencia	Una vez el usuario finaliza la actividad, antes de volver al menú, la escena de Phaser y música deben ser gestionados para no perjudicar el rendimiento general del sistema.

Cuadro 5.8: Requisitos no funcionales de la iteración 4

Iteración 4 - Solución

Para satisfacer los requisitos definidos para el entrenamiento de agilidad en el apartado anterior, ha sido necesario realizar un diseño que permita incluir las funcionalidades señaladas, y una implementación que tenga en cuenta estas y los requisitos no funcionales definidos. La implementación del exergame “agilidad” pretende añadir valor al entorno de ReActíva-te motivando al jugador a realizar movimientos menos habituales en el primer videojuego activo “cardio”.

El diseño ejemplifica el propósito que tendrá el videojuego, en el que la finalidad es esquivar un elemento virtual móvil mientras se tocan los objetivos que aparecen en pantalla. Algunos de los elementos incluidos en el juego ya se habían diseñado e implementado previamente, como por ejemplo los objetivos y su interacción, el HUD y la comunicación con este, y también se mantienen los elementos de gamificación como puntos, niveles o mensajes motivadores. Sin embargo, se producen cambios en la construcción de la disposición de los marcadores y sobre todo, se introduce un nuevo elemento que se desplaza e interacciona con el jugador. Para ello, se propone el siguiente diseño en la Figura 5.10:

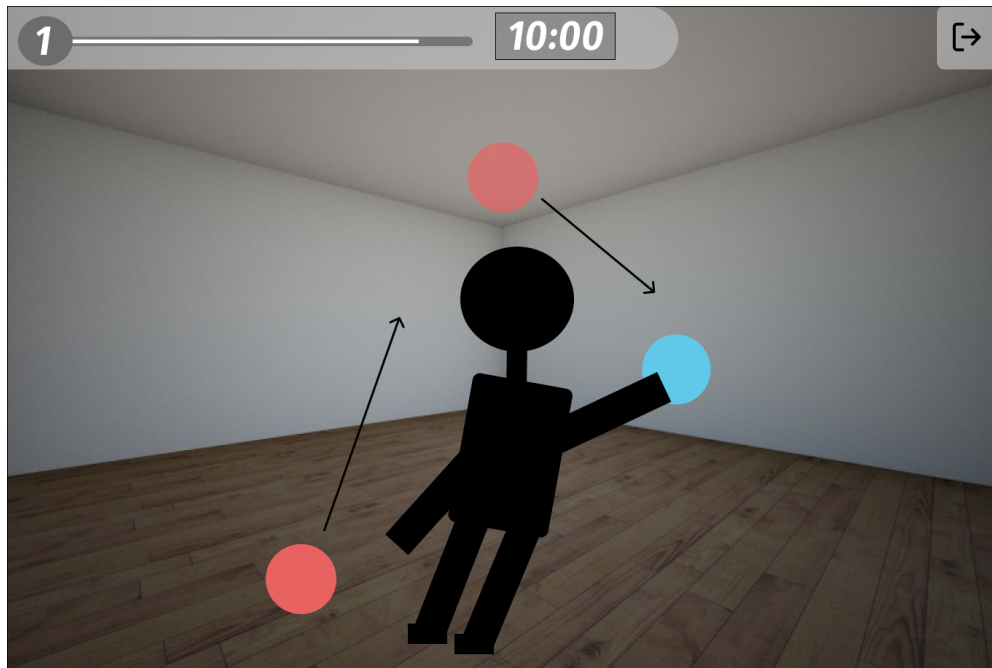


Figura 5.10: Boceto de la interfaz del exergame “agilidad”

A continuación, se detalla la construcción de estas características:

Elemento móvil

El objeto móvil es un elemento dinamizador creado para introducirse en el ejercicio de agilidad. La finalidad de su creación es fomentar en el usuario movimientos más enérgicos con cambios de dirección o sentadillas para esquivar el contacto con el objeto. A continuación, se detalla cómo se ha implementado dicha característica.

En primer lugar, ha sido necesario definir el movimiento del objeto, para ello, Phaser proporciona propiedades físicas que pueden personalizarse para añadir comportamientos a un elemento. El elemento inicial es una imagen de una bola de fuego y sobre esta, se aplica una velocidad, una rotación continua y se especifica que debe rebotar en pantalla.

Además, Phaser permite crear emisores de partículas, las partículas son puntos, cada uno independiente del resto, que se usan de forma combinada para generar formas. Las partículas se pueden usar para generar fluidos, humo, lluvia, o en este caso, un efecto de llamarada. Para que estas partículas sigan a la imagen de bola de fuego sobre la que se han aplicado las físicas, se ha utilizado el método “startFollow”, completando así como se percibe el objeto.

Para añadir aleatoriedad al movimiento se ha establecido que, al pasar de un nivel a otro, el objeto móvil aparecerá alternativamente por el lado izquierdo y derecho, y habrá un 50 % de probabilidad de que salga por la parte superior o inferior.

También, para que el sistema proporcione retroalimentación, si alguno de los puntos corporales detectados colisiona con el objeto móvil, se ha definido, al igual que con los marcadores, una retrollamada en la que si se produce un solapamiento entre los objetos se llame

al método “bodyContactBall”, que se encarga de restar experiencia mientras exista contacto, emitir partículas de color rojo, activar los eventos de actualización de puntuación y nivel en el HUD y, por último, reproducir sonido para alertar del impacto. Esto se puede observar en el siguiente fragmento de código 5.3.

```
bodyContactBall() {
  this.exp = Number(this.registry.get(Constants.REGISTER.EXP));
  if (Number(this.registry.get(Constants.REGISTER.EXP)) > 0) {
    this.exp = this.exp - 1;
  }
  this.ballEmitter.tint.onChange(0xff0000);
  this.time.addEvent({
    delay: 500,
    callback: () => {
      this.ballEmitter.tint.onChange(0xff107);
    },
    loop: true
  })
  this.registry.set(Constants.REGISTER.EXP, this.exp);
  this.events.emit(Constants.EVENT.UPDATEEXP);
  if (!this.audioContactError.isPlaying) {
    this.audioContactError.play();
  }
}
```

Listado 5.3: Color, puntuación y eventos de la bola en movimiento.

Disposición de marcadores

En la iteración 3, se explicaba cómo se disponen los marcadores para mostrar los objetivos interaccionables al jugador para el ejercicio de “cardio”. En esta ocasión, se ha utilizado una disposición de los marcadores distinta, donde además, se ha ocultado donde saldrá el objetivo, es decir, se sigue utilizando el mismo objeto de marcador pero no es visible. Por tanto, la interacción con los objetivos es la misma y utiliza las mecánicas ya generadas, pero los marcadores se han ocultado y colocado en otra disposición.

En este videojuego activo se han utilizado 24 marcadores, 6 por cada fila, donde 3 pertenecen al lado izquierdo y 3 al derecho, formando los 24 un cuadrado con un espacio en la mitad. Esto permite que la generación de objetivos sea diferente al primer entrenamiento, y al ocultar los marcadores proporciona frescura al marcar diferencias con el videojuego “cardio”. Además, el tiempo de expiración de los marcadores aumenta, debido a que ahora hay que realizar más movimientos para evitar el marcador móvil y poder llegar al objetivo, y solo hay 1 o 2 objetivos visibles al mismo tiempo. Estos cambios permiten regular la dificultad y permitir que los adultos mayores puedan completar el ejercicio con el nivel de esfuerzo que se requiere. En la Figura 5.13 se muestra una imagen del exergame:



Figura 5.11: Videojuego Agilidad

Iteración 4 - Ventajas

La introducción de las características implementadas en el ejercicio de “agilidad” aportan valor al entorno y amplían las oportunidades que tiene el usuario. Las ventajas de la implementación realizada pueden resumirse en las siguientes:

1. Gracias a la retroalimentación ofrecida cuando existe contacto con el objeto en movimiento, visual y auditiva, el jugador puede entender rápidamente la finalidad del exergame.
2. Al reutilizar las mecánicas de interacción con los objetivos la curva de aprendizaje para el juego nuevo es más rápida, y el tiempo de construcción de la solución y la mantenibilidad mejora.
3. Las físicas del objeto en movimiento y la velocidad con la que se mueve hacen predecible la trayectoria de este, permitiendo al jugador pensar sus movimientos previamente y posibilitando que se centre en la postura corporal al realizar los movimientos.
4. La nueva disposición de los marcadores y su ocultación proporcionan un aspecto visual renovado frente al videojuego de cardio.
5. Los aspectos de gamificación implementados en el anterior ejercicio se mantienen, y además se amplían, con la implementación del objeto móvil que disminuye la puntuación al chocar con el usuario.

5.6 Iteración 5 - Videojuego “Flexibilidad”

La iteración 5 detalla el análisis y desarrollo del último exergame realizado para ReActívate en el contexto de este TFM. “Flexibilidad” es un juego que aplica todo lo aprendido durante la realización del resto de juegos. La flexibilidad se define como la capacidad de los músculos de adaptarse mediante su alargamiento a distintos grados de movimiento articular. La finalidad de este videojuego activo es conseguir el mantenimiento y desarrollo de esta capacidad en los adultos mayores. A continuación, se expone la problemática a resolver.

Iteración 5 - Problema

Los ejercicios de estiramiento, o de flexibilidad, son una parte importante de un buen entrenamiento en adultos mayores. Proporcionan libertad de movimiento para sus actividades físicas y para sus actividades diarias, tales como vestirse y alcanzar objetos. Los ejercicios de estiramiento pueden mejorar su flexibilidad, pero no mejorarán su resistencia. Por esto, como complemento a los anteriores exergames se necesita un entrenamiento más pausado y con un ritmo más lento, teniendo que modificar algunas características establecidas en el resto de juegos como el tiempo de expiración de los objetivos o la progresión de la dificultad. En la Tabla 5.9 y 5.10 se definen los requisitos para esta iteración.

Requisito	Descripción
RF01. Gamificación	El usuario recibirá puntos que subirán su barra de experiencia y nivel. Además, se reproducirán mensajes motivadores durante el juego en base a los resultados parciales del jugador.
RF02. Musica	Se reproducirá música mientras se realiza el exergame.
RF03. Secuencia de objetivos	El juego establecerá una lógica para fomentar movimientos de flexibilidad mediante una disposición específica de marcadores.
RF04. Aleatoriedad y dificultad	El sistema proveerá la aparición de objetivos aleatorio para que el usuario no sienta repetitivo el juego, y se establecerá un aumento progresivo de la dificultad.
RF05. Guardado de resultados	De forma automática, cuando un jugador realiza el videojuego de flexibilidad, el sistema guardará sus estadísticas.

Cuadro 5.9: Requisitos funcionales de la iteración 5

Requisito	Descripción
RNF01. Usabilidad	La interacción con el videojuego “flexibilidad” debe ser fluida y el sistema debe proporcionar retroalimentación en pantalla al jugador.
RNF02. Eficiencia	Una vez el usuario finaliza la actividad, antes de volver al menú, la escena de Phaser y música deben ser gestionados para no perjudicar el rendimiento general del sistema.

Cuadro 5.10: Requisitos no funcionales de la iteración 5

Iteración 5 - Solución

Una vez establecidos los requisitos funcionales y no funcionales, en esta sección se diseñará la GUI que servirá como base para la implementación. Además, se dará a conocer los detalles más importantes de la implementación. La Figura 5.12 presenta el diseño.

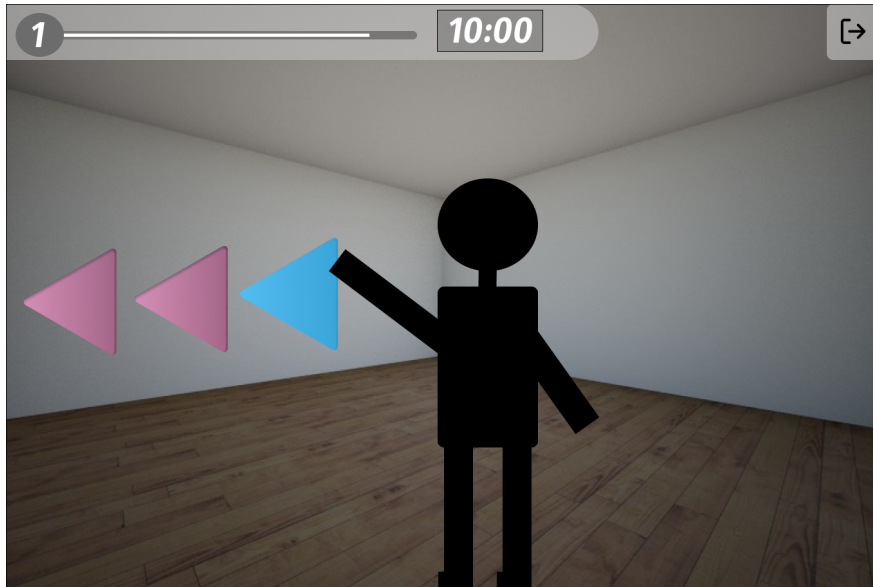


Figura 5.12: Boceto de la interfaz del exergame “flexibilidad”

El exergame de “flexibilidad” aplica grandes cambios en la generación de objetivos, genera secuencias definidas de movimientos que favorecen la flexión de los brazos y tronco del cuerpo, y modifica la progresión y dificultad de los niveles.

El sistema mostrará varios objetivos al mismo tiempo y en una dirección en específico, apuntando claramente la secuencia que tiene que realizar el jugador para interactuar con estos. El primer objetivo interaccionable será el de color azul, y cuando el usuario interactúe con este, el sistema cambiará de color del siguiente objetivo. La finalidad es que el jugador realice una secuencia fluida moviendo su cuerpo en la dirección indicada sin pausa, tocando los objetivos y en el orden que se indica.

De esta forma, se consigue motivar un movimiento en específico que implica estirar el cuerpo y brazo a través de los objetivos, de forma controlada y guiada en todo momento. Si un usuario pulsa un marcador indebidamente se penalizará, pero podrá seguir la secuencia marcada. A continuación, se expone cómo se han implementado algunos de los cambios más importantes de este videojuego activo respecto los anteriores.

Secuencia de objetivos

El mayor cambio del entrenamiento de flexibilidad frente al de agilidad y cardio es la generación de secuencias. Una secuencia es un conjunto de objetivos dispuestos en una determinada posición que indican una dirección concreta que el jugador debe seguir para completar el ejercicio correctamente. En este entrenamiento, se utiliza la aleatoriedad para cambiar de

una secuencia a otra y para cambiar la dirección de las secuencias pero, al contrario que en resto de entrenamientos, las secuencias están predefinidas.

Los marcadores donde se generan los objetivos tienen la misma colocación que en el videojuego “agilidad”, siendo igualmente no visibles. Cada marcador tiene asignado un identificador y, por tanto, una secuencia será un vector que contiene los identificadores de los marcadores donde se quiere que aparezca un objetivo. Existen 6 posibles secuencias diferentes, que además pueden ir en una dirección u otra:

1. Horizontal izquierda y derecha: Corresponde con la secuencia mostrada en la figura 5.10, donde se motiva el desplazamiento lateral del usuario.
2. Estiramiento de abdominales oblicuos a brazo izquierdo o derecho sobre la cabeza: El usuario debe doblar lentamente su cuerpo desde abajo hacia su lado izquierdo y arriba sintiendo el estiramiento en sus músculos oblicuos.
3. Vertical izquierda o derecha: La secuencia de marcadores aparece totalmente vertical, el jugador debe realizar un movimiento desde arriba hacia abajo flexionando las piernas y estirando el brazo.

Además de estas 6 secuencias, de forma aleatoria, hay un 50 % de posibilidades de que la secuencia se invierta, por ejemplo, empezando la secuencia de estiramiento de oblicuos desde arriba o desde abajo. En la implementación, como se ha comentado, una secuencia es un conjunto de marcadores incluidos en un vector. El objetivo a interaccionar de color azul es siempre el primer valor del vector, y cuando el usuario interacciona y lo destruye, se elimina del vector, quedando en primera posición el siguiente, que cambiará su color para indicar que se debe interaccionar con este. Cuando la aleatoriedad indica que la secuencia se debe invertir, antes de realizar esta lógica, se invierte el contenido del vector.

Objetivos guía

Para el usuario, la dirección que guía los marcadores debe ser clara, y por este motivo, se ha programado una lógica en la que la punta del objetivo, que es un triángulo, debe señalar siempre a la base del siguiente triángulo a interaccionar. Para esto, antes de pintar un objetivo en pantalla, se calcula el ángulo que existe entre el objetivo a pintar, y el siguiente objetivo almacenado en el vector de la secuencia. Además, si la secuencia es invertida, es necesario añadir un valor negativo predefinido para dar la vuelta al objetivo.

Para calcular este ángulo se utiliza “Angle.Between”, que es una de las funciones matemáticas provistas por Phaser. Es necesario tener en cuenta que para el último marcador a pintar no se tiene referencia del siguiente, por lo que el ángulo que tomará será el del anterior.

Principalmente, la función “Angle.Between” permite calcular el ángulo entre 2 puntos, que tienen sus coordenadas x e y. La lógica establecida comprueba si el objetivo a pintar es el último y, si no lo es, la rotación a asignar al objetivo será la calculada del ángulo entre

5. RESULTADOS

las coordenadas del objetivo y el siguiente. En caso de que sea el último, será el ángulo del objetivo con el anterior. Esto puede observarse en el siguiente fragmento de código 5.4:

```
if(marker.id!=this.nextSequenceDirectionCopy[this.nextSequenceDirectionCopy.length-1]){
rotation+=Phaser.Math.Angle.Between(this.markers.find((marker) => marker.id === this.
nextSequenceDirectionCopy[this.controlNextMarker]).x, this.markers.find((marker)=>marker.id ===
this.nextSequenceDirectionCopy[this.controlNextMarker]).y, marker.x, marker.y);
} else {
rotation+=Phaser.Math.Angle.Between(marker.x, marker.y, this.prevMarker.x, this.prevMarker.y);}
```

Listado 5.4: Cálculo de ángulo entre 2 objetivos

A continuación, en la Figura 5.13 se presenta el resultado final:

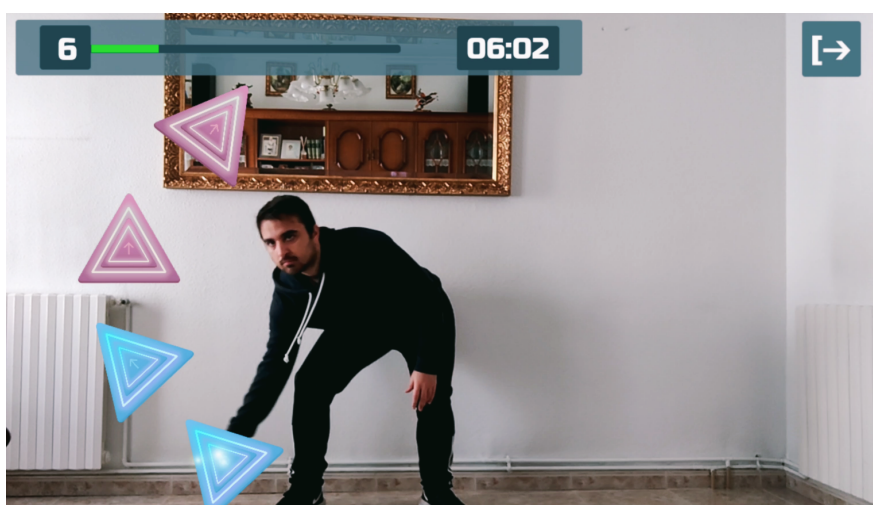


Figura 5.13: Videojuego Flexibilidad

Iteración 5 - Ventajas

La implementación exergame de flexibilidad aporta grandes ventajas a la hora de complementar de forma adecuada el resto de los ejercicios, a continuación, se enumeran algunas:

1. La implementación de los marcadores y objetivos permite personalizarlos, permitiendo que para este videojuego activo los objetivos sean diferentes creando variedad.
2. La lógica creada para guiar el movimiento del jugador aporta una retroalimentación importante, gracias a la implementación de secuencias y su gestión, es posible añadir fácilmente nuevas secuencias, y además, de forma automática estas tendrán variación en el sentido, consiguiendo gran mantenibilidad.
3. El rendimiento del sistema ante la interacción con los objetivos es muy buena, permitiendo cambiar en tiempo real los objetivos e indicando rápidamente el siguiente.
4. Aspectos como la extinción del objetivo, tamaño, animaciones o música del juego cambian para ofrecer una mejor usabilidad y variar la dificultad del exergame. Mientras que la gamificación se ajusta a las secuencias.

5.7 Iteración 6 - Histórico y estadísticas

La última iteración describe el análisis, diseño e implementación de las características que soportan el manejo de histórico y estadísticas. El histórico comprende solo el historial de partidas mientras que las estadísticas son cálculos que se realizan con los registros que se han guardado, por ejemplo, el porcentaje de objetivos acertados.

Iteración 6 - Problema

Para conocer el progreso de los jugadores es necesario guardar y mostrar la información relativa a sus partidas, en esta iteración se construye una solución a esta necesidad. En la tabla 5.11 y 5.12 se especifican todos los requisitos funcionales y no funcionales que se espera completar al finalizar el incremento.

Requisito	Descripción
RF01. Historial	El usuario podrá visualizar el historial de partidas que ha jugado.
RF02. Estadísticas	El usuario podrá visualizar estadísticas relativas a su rendimiento en las partidas.
RF03. Control gestual	Se utilizará el control por gestos para navegar en la visualización de historial y estadísticas.
RF04. Gráficos animados	El usuario tendrá acceso a gráficos animados para analizar la información.

Cuadro 5.11: Requisitos funcionales de la iteración 6

Requisito	Descripción
RNF01. Usabilidad	El sistema incluirá las animaciones de Phaser para mejorar la visualización de estadísticas.
RNF02. Eficiencia	El sistema debe crear ventanas modales con elementos de Phaser en el menú para evitar que el usuario tenga que navegar a distintas escenas y el motivar el uso eficiente de recursos.
RNF03. Mantenibilidad	La información relativa al historial y estadísticas se guardarán en formato JSON, y mediante programación orientada a objetos se fomentará la reutilización y ampliación del código.

Cuadro 5.12: Requisitos no funcionales de la iteración 6

Una vez detallados los requisitos para la presente iteración, a continuación, se describe el diseño e implementación del historial y estadísticas.

Iteración 6 - Solución

En primer lugar, el boceto representado en la Figura 5.14 muestra el diseño del modal o ventana de estadísticas, donde se presentan los registros más importantes del exergame en el que se ha obtenido un mayor nivel.

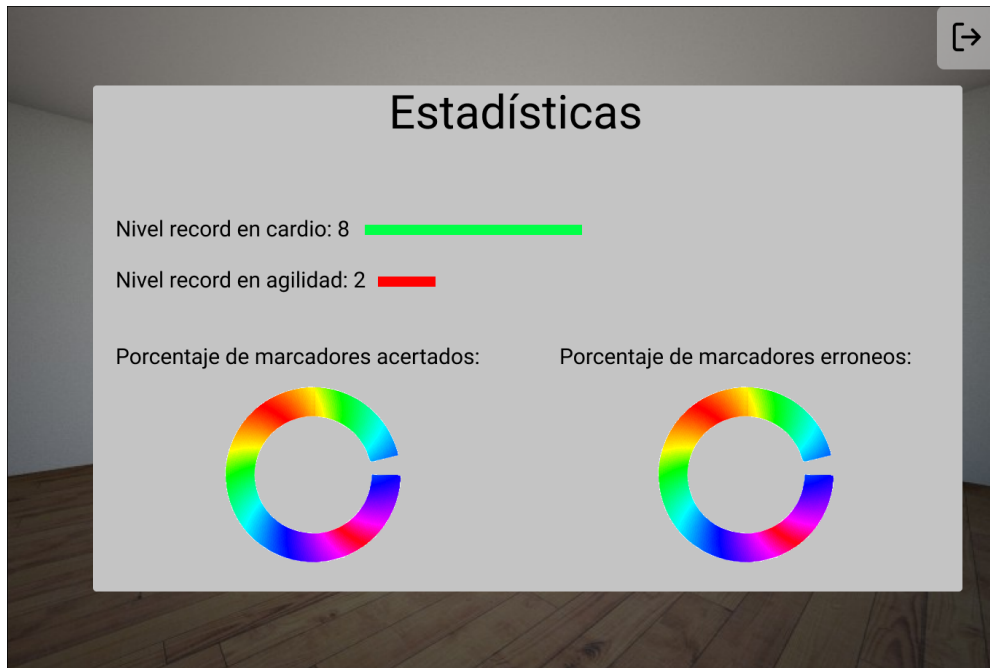


Figura 5.14: Boceto de la interfaz de estadísticas

El entorno web ReActívate se ejecuta por completo en el cliente, es decir, no dispone de un servidor donde puedan almacenarse los datos, y esto es un problema para el almacenamiento del historial de partidas y estadísticas. Por este motivo, se utiliza el objeto Storage (API de almacenamiento web) que permite almacenar datos de manera local en el navegador.

Almacenamiento de información

Para cumplir el RN03, se almacena la información en formato JSON y se elige una estructura basada en un vector de objetos donde cada uno tiene un conjunto de propiedades. La Figura 5.15 muestra el JSON con un objeto generado para cada uno de los exergames:

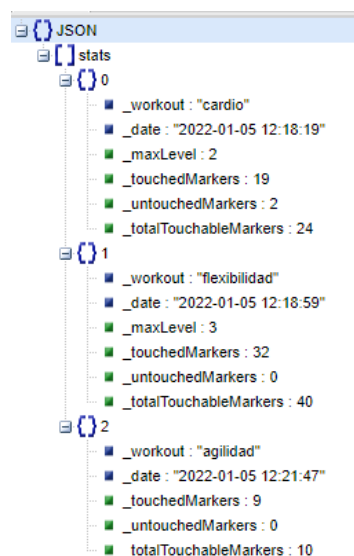


Figura 5.15: Boceto de la interfaz del exergame “flexibilidad”

Gracias a esta implementación se han podido generar fácilmente métodos que analicen la información almacenada en esta estructura para crear estadísticas interesantes para el usuario y su progresión como, por ejemplo, recoger el entrenamiento donde se ha alcanzado un mayor nivel o calcular porcentajes de aciertos y fallos en la interacción con los marcadores.

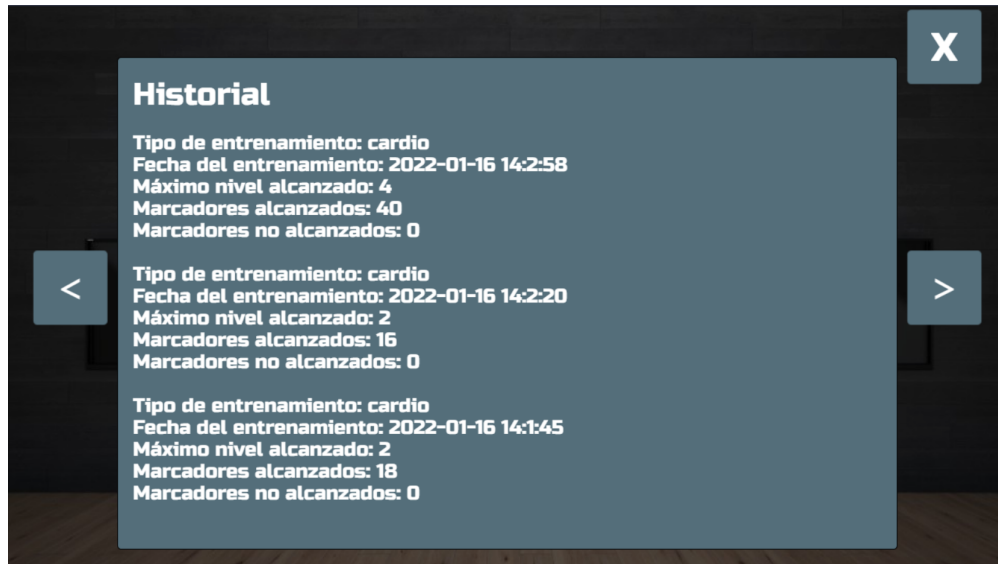


Figura 5.16: Historial ReActívate

Visualización de estadísticas

El menú dispone de 2 accesos para poder visualizar el historial y las estadísticas. Además, las ventanas modales permiten el control y navegación gestual para cumplir con los RF01, RF02 y RF03. Sin embargo, mientras que la ventana donde se muestra el histórico de partidas es estática, las estadísticas tienen una lógica más compleja para cumplir el RF04, y soportar gráficos animados para analizar la información más fácilmente.

En primer lugar, para la ventana modal, se ha creado una clase que extiende objeto “Image” de Phaser. Por tanto, la ventana no es en realidad una nueva escena, sino que se sobrepone sobre la escena del menú principal, para así cumplir con el RNF02 de eficiencia, y facilitar la interacción y espera del usuario. Por tanto, cuando se interacciona con el botón, se despliega el objeto “Image” de Phaser y la configuración para navegar por las estadísticas.

Dentro de esta clase creada, denominada con el nombre “stats”, se ha generado el método “showStats”, que se encarga de llamar a la clase “utils”, que contiene los métodos creados para el acceso y escritura a la información almacenada en JSON, y de añadir a la escena los elementos de Phaser necesarios para generar figuras animadas, que extienden del objeto “Phaser.GameObjects.Graphics”, y sobre el que se pueden generar animaciones.

Por último, también es necesario un método que destruya todo lo generado, llamado “destroyStats” una vez que se cierran las estadísticas, ya que, como se ha comentado, se generan dentro del menú principal y por motivos de rendimiento, no es recomendable dejar los objetos animados actualizándose en segundo plano.

5. RESULTADOS

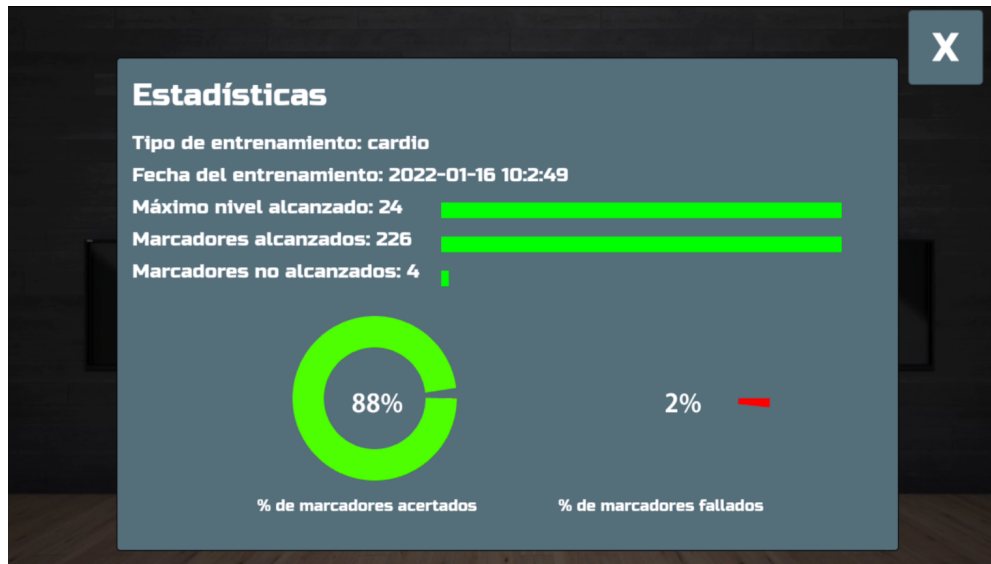


Figura 5.17: Estadísticas ReActívale

Iteración 6 - Ventajas

La implementación realizada del historial y las estadísticas tiene ciertas ventajas y limitaciones detalladas a continuación:

1. El uso del objeto Storage para almacenar información tiene algunas ventajas, como que se puede almacenar información sin necesidad de base de datos, o que esta información no tiene fecha de expiración. Sin embargo, también tiene algunos inconvenientes como su limitación de 5MB y que los datos son persistentes solo en el navegador donde se ejecuta el entorno.
2. El almacenamiento en formato JSON facilita el cálculo de las estadísticas gracias al rápido acceso a los atributos de los objetos guardados.
3. Gracias a la utilización de objetos que extienden de Phaser es posible la adición de físicas y animaciones sobre las figuras introducidas en las ventanas modales.
4. La utilización del menú principal para sobreponer las ventanas modales de historial y estadísticas permiten reutilizar los controles gestuales y permitir que el jugador navegue rápidamente por ellos sin tener que abrir nuevas escenas, mejorando el acceso a la información.
5. Se ha implementado el código de rastreo de Google Analytics para generar estadísticas avanzadas cuando el sistema esté en producción, abriendo la posibilidad a trabajos futuros en los que obtengan datos para analizarlos, realizar mejora continua y estudios de mercado.

Conclusiones y líneas de trabajo futuro.

EL presente capítulo analiza los resultados alcanzados en el TFM, identificando las partes más destacadas y cómo aporta valor el entorno ReActívate. Además, se justificará los objetivos y competencias que se han alcanzado y, por último, se enumerarán posibles mejoras y ampliaciones que tienen interés para el tema tratado.

6.1 Análisis de los resultados

El valor principal del entorno ReActívate es construir un espacio de exergames ejecutable en un cliente web y accesible para adultos mayores, permitiendo así, utilizarlo con una amplia gama de dispositivos móviles como smartphones, tabletas inteligentes o portátiles. Gracias a esto, el entorno será aprovechado por un mercado de jugadores mucho más amplio, que podrá beneficiarse de las ventajas de realizar actividad física de forma divertida.

El reconocimiento preciso de los movimientos del usuario y la implementación de los controles mediante gestos intuitivos para navegar por el entorno y jugar a los videojuegos, ayuda a que los adultos mayores solo se tengan que centrarse en la utilización del entorno, siendo fácil acceder a la web y jugar sin impedimentos que aumenten la curva de aprendizaje.

La creación de 3 exergames diferentes aporta variedad, y la asociación de cada videojuego activo a la mejora y mantenimiento de una competencia física permite a los usuarios conocer en qué están progresando. Gracias a la retroalimentación en pantalla que se ofrece en cada uno de estos juegos, mediante animaciones, audio y texto, el usuario conoce en todo momento el objetivo del entrenamiento, que le guía a través de los movimientos y la técnica correcta para realizar ejercicio físico.

La gamificación hace más divertida la realización de ejercicio, aumenta la atención y concentración, estimula la utilización del entorno y favorece el aprendizaje de las bases que siguen los videojuegos.

Por último, la implementación del historial y estadísticas, permiten conocer y analizar el progreso del usuario a través del tiempo, permitiendo conocer su desarrollo y mejorando la adherencia al entrenamiento.

6.2 Cumplimiento de objetivos y adquisición de competencias

En la sección anterior, se resume el valor que propone ReActívate una vez construido, a continuación, se exponen los objetivos que se pretendían conseguir antes del desarrollo y cómo se han completado.

El objetivo general de ReActívate era el diseño, desarrollo, despliegue y validación de un entorno web orientado a dispositivos móviles que permita realizar exergames mediante el uso de realidad aumentada a adultos mayores. Como se ha expuesto anteriormente, este objetivo se ha cumplido mediante el desarrollo un entorno con 3 exergames accesibles, donde gracias a la RA es posible indicar los objetivos y fomentar al jugador a realizar ejercicio, motivando su adherencia mediante la gamificación y estimulando la acción mediante música, mensajes motivadores, efectos y animaciones que recompensan la interacción.

En cuanto los objetivos parciales, en primer lugar, se ha realizado un estudio comparativo de las tecnologías web de desarrollo de videojuegos, y se ha estudiado las plataformas existentes en la actualidad que tratan una problemática similar en el Capítulo 3. Esto ha permitido conocer qué problemas existen en las herramientas utilizadas actualmente y enfocar el trabajo a aportar valor en el contexto de la accesibilidad *hardware* y *software*.

También, se ha cumplido el segundo objetivo parcial creando y poniendo en producción un entorno de RA creado mediante una arquitectura *software* que facilita el desarrollo de los exergames, produciendo componentes y mecánicas que una vez terminadas, facilitan la creación de otros videojuegos activos, y permiten añadir contenido ágilmente instanciando funcionalidades empaquetadas disponibles para uso en nuevos desarrollos.

Además, para el diseño de todas las funcionalidades, se ha prestado especial atención a la interacción persona-ordenador propuesta en el tercer subobjetivo planteado, consiguiendo una interfaz usable y accesible para los adultos mayores, donde para el control, tanto del entorno como para jugar, solo es necesario utilizar el propio cuerpo, creando una curva de aprendizaje sostenible.

El último objetivo plantea la implementación de gamificación para motivar el uso de la plataforma, y esto se ha conseguido mediante el desarrollo de mecánicas como un sistema de puntuación, niveles, mensajes motivadores que recibe el usuario, música y la retroalimentación en pantalla que produce el sistema al interaccionar con los distintos elementos, ya que esto provoca que el usuario se sienta recompensado por las acciones que realiza y motiva la adherencia al ejercicio.

Una vez analizados los logros de los objetivos tras la creación del entorno, a continuación, en la Tabla 6.1, se justifica cómo se han desarrollado las competencias propuestas:

Competencia	Justificación
[CE1] Capacidad para la integración de tecnologías, aplicaciones, servicios y sistemas propios de la Ingeniería Informática, con carácter generalista, y en contextos más amplios y multidisciplinares.	Se integran multitud de tecnologías mediante el despliegue de un entorno web que usa tecnología RA, reconocimiento de los movimientos corporales, elementos multimedia para motivar e instruir la realización de ejercicios guiados por objetos virtuales 2D, generados a partir de herramientas de modelado gráfico como <i>Blender</i> o <i>Figma</i> , y herramientas para mantener y desplegar el código desarrollado mediante <i>Github</i> . El uso de <i>Phaser</i> , que habilita la creación de videojuegos, y todos los elementos relacionados que provienen de distintos ámbitos, necesitando una integración de todos los contextos en una construcción donde el valor reside la accesibilidad y usabilidad.
[CE4] Capacidad para modelar, diseñar, definir la arquitectura, implantar, gestionar, operar, administrar y mantener aplicaciones, redes, sistemas, servicios y contenidos informáticos.	Ha sido necesario desarrollar, mantener y desplegar una aplicación web durante todas sus etapas, integrando distintas tecnologías como <i>Phaser</i> , <i>Typescript</i> y <i>Mediapipe</i> en una sola arquitectura que permitirá crear y mantener exergames.
[CE13] Capacidad para utilizar y desarrollar metodologías, métodos, técnicas, programas de uso específico, normas y estándares de computación gráfica.	Se han utilizado multitud de herramientas específicas para la computación gráfica, desde programas para la creación de todos los elementos virtuales como <i>Blender</i> y <i>Figma</i> a programas para el diseño de interfaces y herramientas para la integración de todos estos objetos en un espacio de RA cumpliendo con los objetivos establecidos de accesibilidad y usabilidad, siguiendo las técnicas precisas para habilitar estas características y enfocando el producto en todo momento al jugador final.
[CE14] Capacidad para conceptualizar, diseñar, desarrollar y evaluar la interacción persona-ordenador de productos, sistemas, aplicaciones y servicios informáticos.	El entorno ha sido desarrollado centrado en la forma de interacción del usuario, para que pueda ser accesible y se realice actividad física con una buena experiencia, teniendo una curva de aprendizaje afable y pensando en las limitaciones de los adultos mayores, recogidas tras el estudio de plataformas similares en propósito. Todo esto se ha tenido en cuenta desde la conceptualización hasta el desarrollo final, diseñando las mecánicas e interfaces con el objetivo de ofrecer una experiencia donde no existe necesidad de tener contacto físico con un controlador de tradicional y permitiendo una interacción persona-ordenador fluida y natural para el público objetivo.

Cuadro 6.1: Justificación de la adquisición de competencias

6.3 Líneas de trabajo futuro

En la construcción del entorno siempre ha estado presente la mantenibilidad de este, con el propósito de que aumentar el catálogo de exergames fuese lo más fácil posible, y desarrollando una arquitectura instanciable que ayudase a la posibilidad de personalizar las mecánicas creadas dando lugar a experiencias nuevas y creativas. Por este motivo, considero que ReActívate puede ser expandido en el futuro, y que este tipo de experiencias no tiene límites. Sin embargo, en esta sección, voy a enumerar algunas ideas que pueden ser implementadas y que, por no entrar dentro del alcance del proyecto, no han sido desarrolladas.

1. **Ampliación sobre la gamificación disponible:** La gamificación de los exergames es fundamental para la adherencia de los jugadores, por este motivo, es necesario la adición de nuevos elementos que amplíen las funcionalidades base implementadas. Por ejemplo, sería interesante y factible añadir una tienda, donde poder gastar los puntos acumulados tras la realización de entrenamientos para adquirir nuevos elementos utilizables en los juegos, como podrían ser nuevas texturas temáticas para los objetivos, efectos, animaciones o música, mejorando ampliamente la rejugabilidad.
2. **Estadísticas y recomendaciones:** Debido al alcance del proyecto, las estadísticas que genera el entorno son básicas, ofrecen una visión sobre algunos parámetros de juego pero estas pueden ser ampliamente mejoradas, por ejemplo, mediante el registro de mucha más información relativa a los movimientos del usuario, identificando los movimientos del entrenamiento donde se pierde la concentración o las dificultades que tiene cada jugador a la hora de realizar ciertos movimientos de un objetivo a otro, aportando una información de mayor valor.
3. **Estadísticas sobre el progreso del jugador:** Mediante el historial puede observarse la progresión de un usuario, pero la recogida de más datos sobre la interacción del jugador con el juego abre posibilidades para ampliar la información de valor que se le puede ofrecer al usuario. Por ejemplo, creando estadísticas y gráficos avanzados con el progreso del jugador en el tiempo, juegos donde más ha mejorado y donde tiene que enfocarse en mejorar, motivando la adherencia del jugador y creando un valor añadido. Además, la inclusión de Google Analytics abre posibilidades para realizar estudios de mercado y análisis de datos.
4. **Autenticación, usuarios y base de datos persistente:** Aunque para el alcance del presente TFM no ha sido necesario una base de datos donde reunir los resultados de los jugadores, si se quiere realizar la evolución expuesta en los puntos anteriores, donde se registrará mucha más información acerca del rendimiento del jugador, será necesario una base de datos. Además, para registrar la información y acceder a los datos desde cualquier sitio y dispositivo, los jugadores necesitarán una cuenta, y el entorno una autenticación, también necesitando nuevos mecanismos de seguridad para asegurar la privacidad de los usuarios.

6.4 Reflexión personal

En mi opinión, considero que el entorno de ReActívate cumple con todos los propósitos establecidos en su concepción, y aporta valor al integrar multitud de herramientas en un entorno web que no necesita de *hardware* costoso, haciendo mucho más accesible el sistema para la mayoría de personas que se quieren ejercitar mediante exergames.

Pienso, que el momento en el que surge este TFM es ideal, ya que el aumento de la capacidad computacional de los dispositivos móviles, la creación de herramientas libres que permiten utilizar la cámara de un dispositivo para detectar movimientos corporales, y los avances en el desarrollo de videojuegos en la web, hace posible esta creación con un resultado óptimo, siendo fluida la interacción y con una experiencia de RA muy buena.

También, añadir que cursar asignaturas del Máster como Realidad Virtual y Aumentada, permite descubrir tecnologías no antes presentadas con mucha profundidad, y a nivel personal, ha supuesto punto de partida para interesarme por su desarrollo, haciendo posible la concepción del proyecto y motivándome a llevarlo a cabo.

Raúl Ruiz del Valle Álvarez



ANEXOS

Anexo A

Repositorio

Para el alojamiento del repositorio se ha utilizado Github, que permite utilizar el sistema de control de versiones Git ayudando a registrar los cambios realizados en el código. Además, gracias a Github Pages, y debido a que el entorno desarrollado corre solo en el cliente, es posible utilizar el servicio para exponer la página a internet.

El proyecto está dividido en diferentes ramas, que se corresponden con las iteraciones expuestas en el capítulo 4 y 5: Mediante el siguiente enlace es posible acceder al repositorio: <https://github.com/raulruval/reactivate>

Además, se puede encontrar en youtube un vídeo demostración del entorno utilizado como tutorial: <https://youtu.be/T4YS50cfodA>

En el Anexo B se detallarán las instrucciones para el uso del entorno.

Anexo B

Manual del entorno

En este Anexo se explican los pasos a seguir para acceder a ReActívale y cómo se debe utilizar para un uso óptimo. En primer lugar, se explican consideraciones previas que deben tomarse en cuenta, y después, se detalla las posibilidades que ofrece el entorno y cómo deben ser utilizadas.

B.1 Consideraciones previas

Durante la realización de los exergames el usuario tendrá que moverse de su posición inicial, por este motivo, es muy importante que el espacio donde se realicen los ejercicios sea un entorno seguro, apartado de objetos con los que el jugador pueda impactar, y a una distancia de al menos un metro y medio de la cámara.

También, es necesaria una buena iluminación de la sala. Un exceso o defecto de iluminación podría hacer que la detección corporal se vea afectada, por este motivo, se recomienda una iluminación balanceada.

B.2 Instrucciones de uso

Es posible acceder al entorno de ReActívale con cualquier dispositivo que disponga de un navegador y tenga una cámara web, ya sea integrada o conectada como dispositivo externo. Para una mejor experiencia se recomienda establecer a pantalla completa la vista del navegador, esto puede hacerse pulsando F11.

El acceso se realiza mediante la url <https://raulruval.github.io/ReActivate/>

Una vez se accede al entorno web, este le preguntará si le permite utilizar su cámara, debemos aceptar el uso de la cámara, ya que se utiliza para detectar el movimiento corporal, necesario para el correcto funcionamiento del entorno. Véase la Figura B.1.

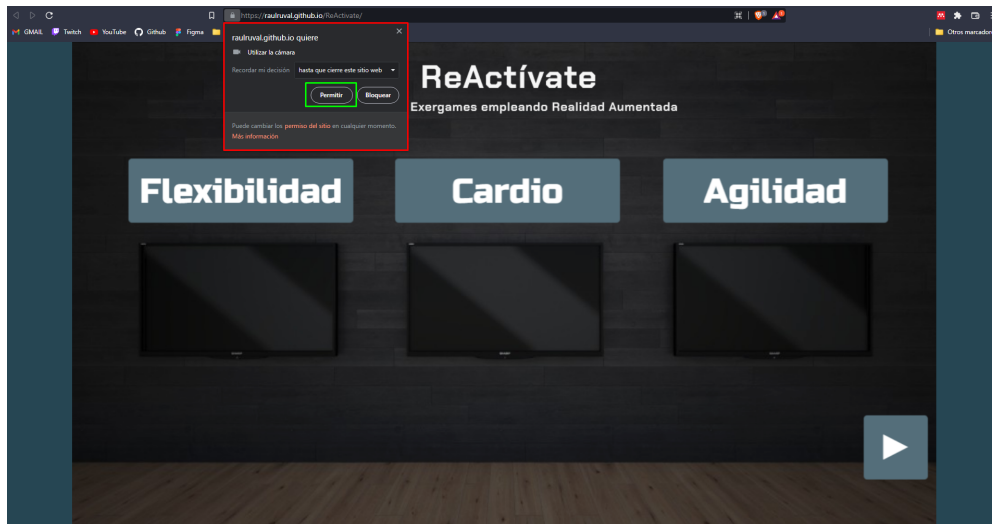


Figura B.1: Permisos de acceso a cámara

Una vez aceptada la utilización de la cámara, el sistema comenzará a reconocer los movimientos corporales y en pantalla aparecerán 2 manos en la posición que el sistema detecta las manos reales del usuario.

Para navegar los menús y acceder a los distintos apartados del entorno se puede utilizar un controlador tradicional como un ratón o la interacción táctil con la pantalla, aunque el sistema de control recomendado es la interacción gestual. Para ello, se debe entender que los elementos en pantalla funcionan como un elemento virtual con el que se puede interaccionar con el cuerpo, que es detectado y representado en pantalla del menú mediante unas manos virtuales. En la Figura B.2 se muestra como acceder a una funcionalidad, para ello, se debe mantener la mano encima del botón y este se rellenará de un color más oscuro. Cuando se llene por completo, la acción se iniciará.



Figura B.2: Interacción con botones

En ReActívate hay 3 exergames, que pueden iniciarse desde la ventana principal, y 3 funcionalidades para obtener información del entorno, para cambiar de pantallas es necesario interaccionar con los botones de desplazamiento, situados en la parte inferior a izquierda o derecha dependiendo de la pantalla de inicio en la que estemos situados.

A continuación, se explicarán las funcionalidades de ReActívate en el orden en el que se encuentran situados los botones.

B.2.1 Flexibilidad

Una vez iniciado el exergame de flexibilidad, el entorno cambiará de escena, situandonos en una pantalla pre-entrenamiento donde se explicará mediante voz el objetivo del ejercicio. Además, se establece una figura humana que guía donde nos tendremos que situar para comenzar, facilitando así el cálculo de la distancia a la cámara, aunque se debe tener en cuenta el espacio del que disponemos. Esta escena, representada en la Figura B.3 será compartida por todos los videojuegos activos.

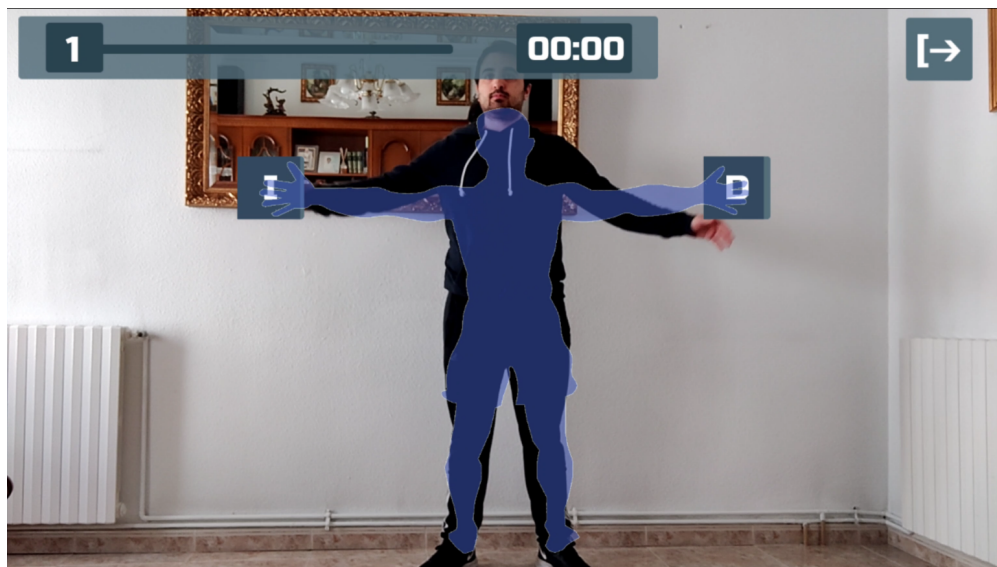


Figura B.3: Escena pre-entrenamiento

Una vez situados en la marca, para comenzar, será necesario interaccionar con los botones “I” y “D” con las manos. El videojuego activo flexibilidad dará comienzo, y si en algún momento queremos salir de este podemos interaccionar con el botón superior situado a la derecha “[->”.

En flexibilidad se debe seguir la secuencia de objetivos indicada en pantalla. Si se realiza de forma correcta, en el HUD se verá incrementada la puntuación, sin embargo, si no se alcanzan los objetivos de forma correcta la puntuación se verá decrementada. Mediante comandos de voz, se darán consejos durante la realización del entrenamiento y se motivará en base al estado del mismo. En la Figura B.4 se exponen imágenes del entrenamiento, que finalizará cuando el tiempo llegue a 00:00, devolviendo al jugador al menú.

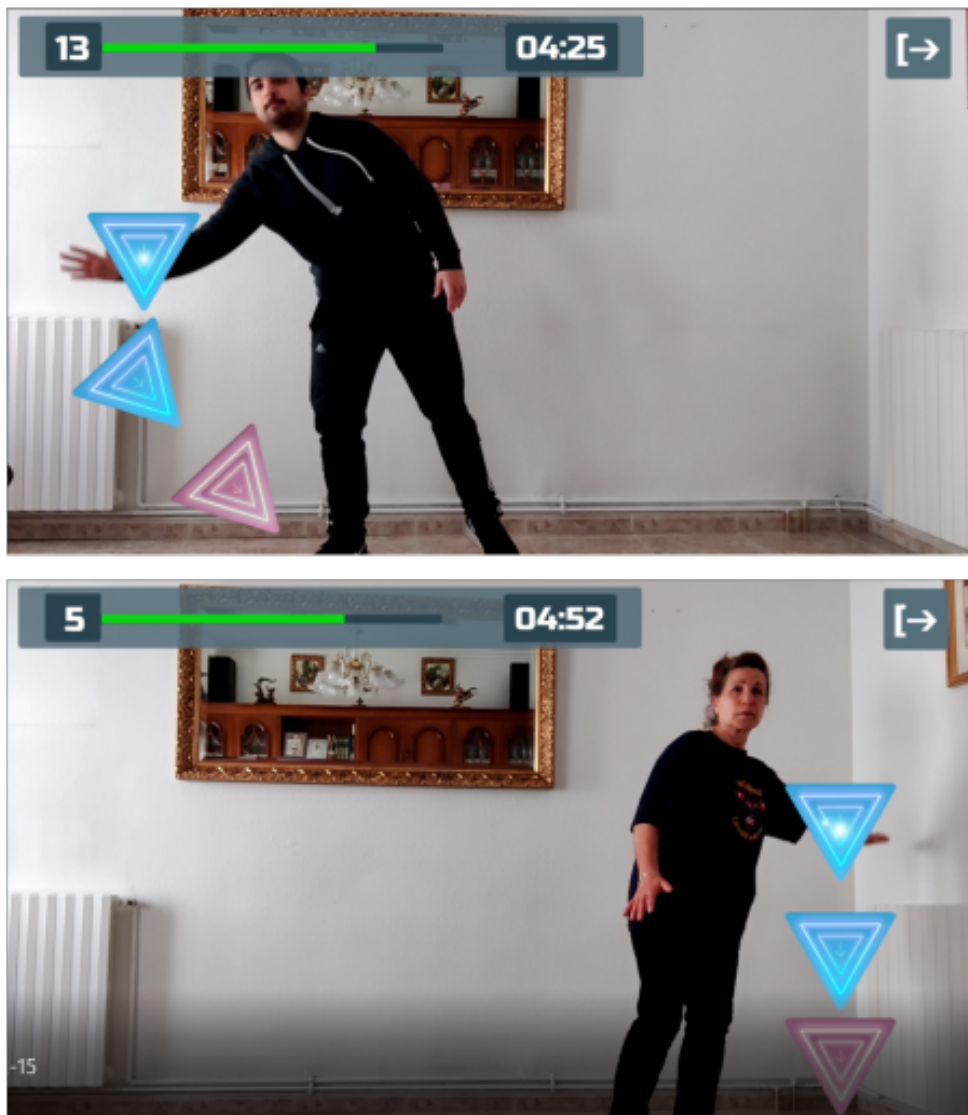


Figura B.4: Imágenes del exergame “Flexibilidad”

B.2.2 Cardio

Una vez se accede a Cardio a través de la interacción con su botón correspondiente, el jugador se sitúa en la pantalla de pre-entrenamiento explicada previamente. Una vez iniciada la actividad el objetivo de cardio es que se realice un ejercicio cardiovascular mediante el movimiento del usuario para alcanzar los objetivos.

Los objetivos, en todos los juegos, pueden ser destruidos con manos, tronco, brazos y piernas. En cardio se deben destruir los objetivos azules, y los objetivos rojos funcionan como descanso del entrenamiento. Se deben destruir todos los objetivos posibles para alcanzar el máximo nivel posible, manteniendo una técnica correcta. En la Figura B.5 se presentan imágenes de la actividad.

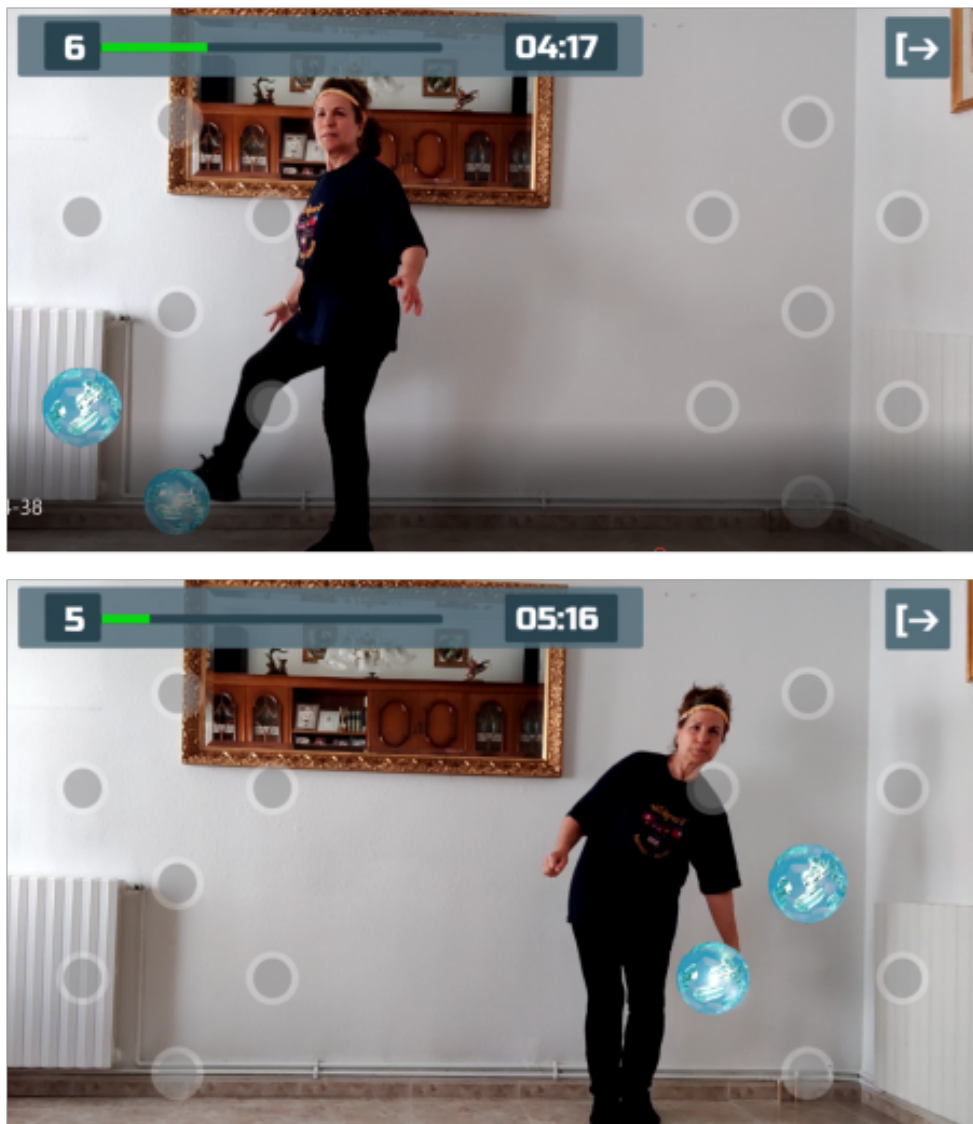


Figura B.5: Imágenes del exergame “Cardio”

B.2.3 Agilidad

Al igual que en los anteriores videojuegos activos, al acceder a agilidad la pantalla inicial es la de pre-entrenamiento, donde se explica el objetivo del exergame. En agilidad, se deben alcanzar los objetivos azules mientras se esquivo la bola en movimiento.

Es importante mantener una buena técnica para esquivar la bola en movimiento, siendo preferible que esta nos impacte reduciendo nuestra puntuación a elegir una mala postura para completar el ejercicio. Por este motivo, se recomienda esquivar la bola cuando esté en su punto más alto, ejerciendo un movimiento de sentadilla. A diferencia del resto de entrenamientos, las bolas azules expiran mucho más tarde, por lo que la preocupación del jugador debe ser realizar los movimientos con la mejor técnica posible.

Tanto en agilidad, como en el resto de los entrenamientos, podemos ver como los objetivos azules se hacen cada vez más pequeños hasta que expiran si no se ha interaccionado

con estos, reduciendo nuestra puntuación. En agilidad y flexibilidad, la espiración de los objetivos es muy lenta, por lo que se hacen más pequeños poco a poco, mientras que, en cardio, expiran más rápido ya que la movilidad es el eje horizontal, no necesitando tanto tiempo para escoger una postura con buena técnica. En la Figura B.6 se exponen imágenes del entrenamiento de agilidad.

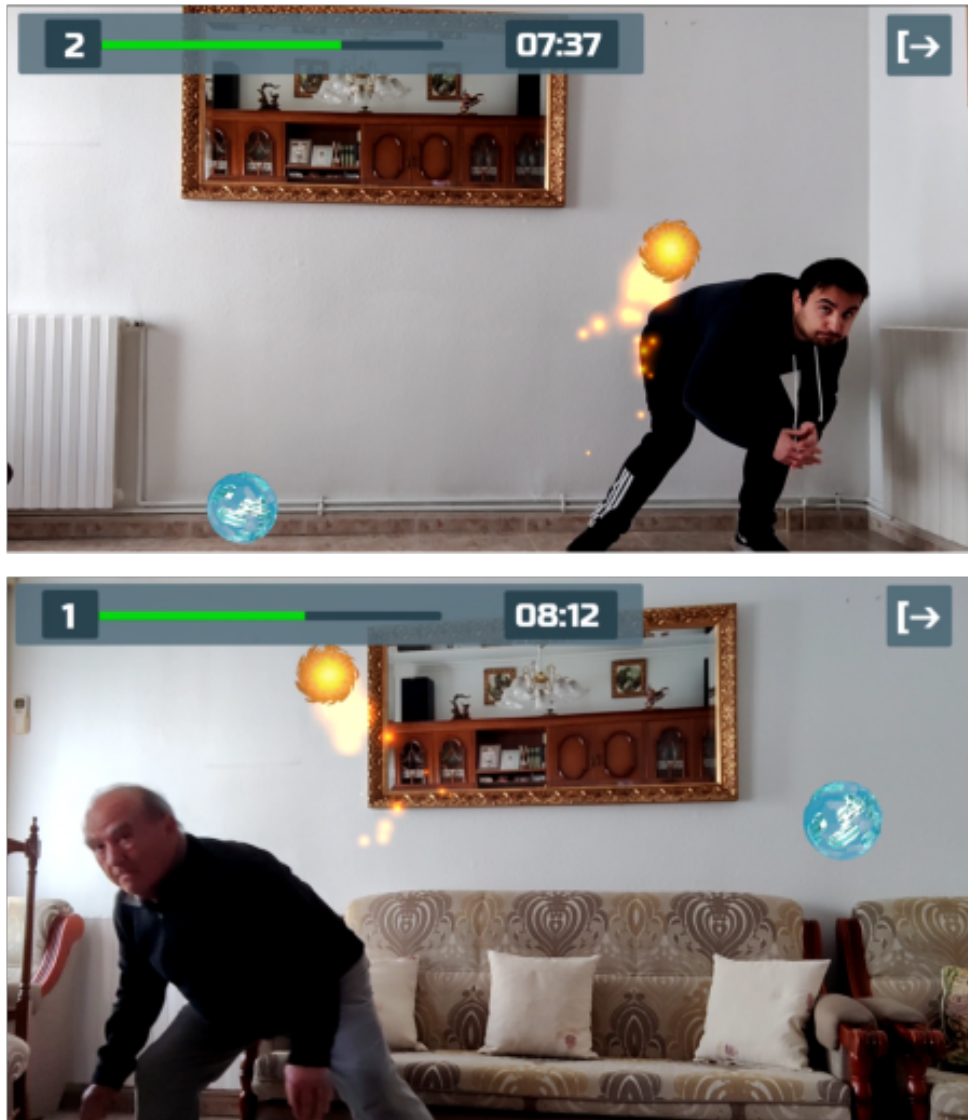


Figura B.6: Imágenes del exergame “Agilidad”

B.2.4 Tutorial

El acceso al tutorial mediante el botón acciona la reproducción de un videotutorial que explica la navegación por el entorno y el acceso a los diferentes exergames y funcionalidades.

Para cerrar su reproducción se puede interaccionar con el botón “X” situado en la parte superior derecha.

B.2.5 Historial

El historial permite ver algunos parámetros capturados de los entrenamientos que se han realizado en los diferentes videojuegos activos. De forma cronológica, cada ventana que se muestra 3 entrenamientos realizados. La información que aporta es:

1. Tipo de entrenamiento.
2. Fecha del entrenamiento.
3. Máximo nivel alcanzado.
4. Marcadores alcanzados.
5. Marcadores no alcanzados.

En la Figura B.7 se puede ver representado el historial, para pasar por las distintas páginas de información es posible utilizar los botones “<” y “>”, y puede ser cerrado mediante el botón “X”.

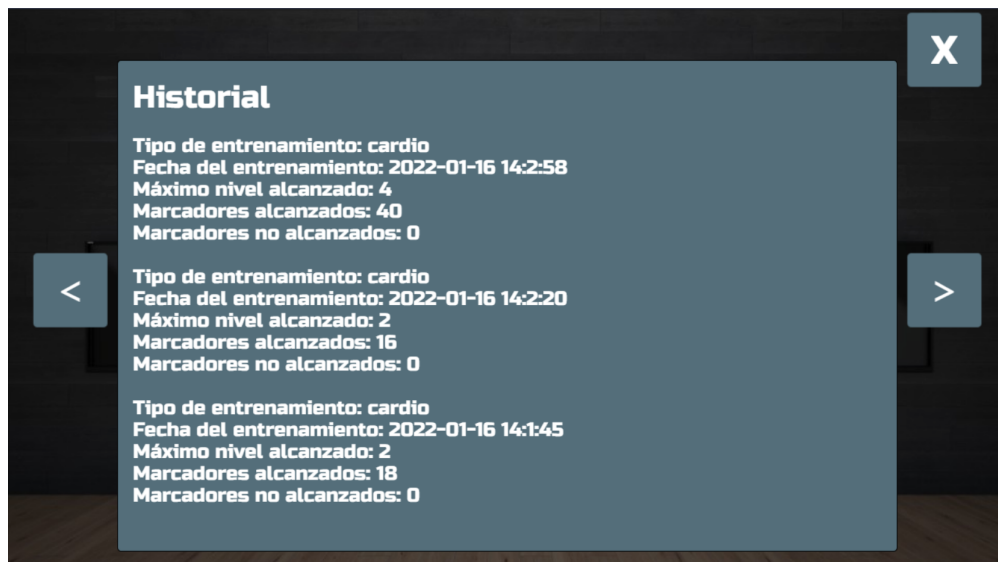


Figura B.7: Imagen del historial

B.2.6 Estadísticas

Por último, el botón de estadísticas permite el acceso a un modal en el que se muestran gráficas animadas con el porcentaje de marcadores alcanzados y no alcanzados. Toda la información se encuentra almacenada en la memoria local del navegador, por lo que si se borra se perderá. En la Figura B.8 se puede observar un ejemplo de estadísticas.

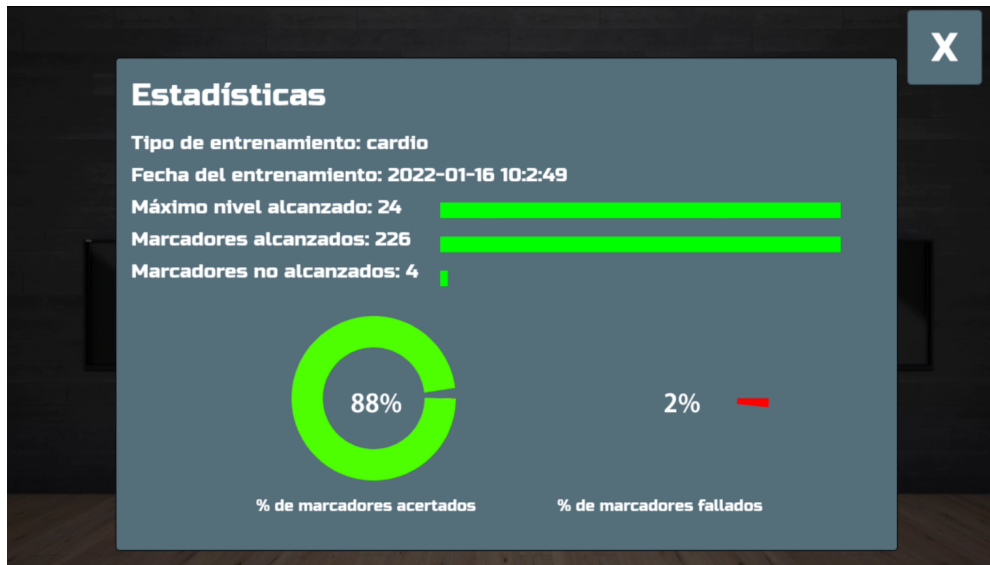


Figura B.8: Imagen de las estadísticas

Referencias

- [AML20] Ancret, Stefan Carlo Michalski, y Tobias Loetscher. Exergaming With Beat Saber: An Investigation of Virtual Reality Aftereffects. *J Med Internet Res* 2020;22(10):e19840 <https://www.jmir.org/2020/10/e19840>, 22:e19840, 10 2020. url: <https://www.jmir.org/2020/10/e19840>.
- [Eys01] Gunther Eysenbach. What is e-health? *Journal of Medical Internet Research*, 3:1–5, 2001. url: [/pmc/articles/PMC1761894/https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC1761894/](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC1761894/).
- [GR04] D. Greer y G. Ruhe. Software release planning: an evolutionary and iterative approach. *Information and Software Technology*, 46:243–253, 3 2004.
- [KSL⁺20] Rick Yiu Cho Kwan, Dauda Salihu, Paul Hong Lee, Mimi Tse, Daphne Sze Ki Cheung, Inthira Roopsawang, y Kup Sze Choi. The effect of e-health interventions promoting physical activity in older people: A systematic review and meta-analysis. *European Review of Aging and Physical Activity*, 17:1–17, 4 2020. url: <https://eurapa.biomedcentral.com/articles/10.1186/s11556-020-00239-5>.
- [LB03] C. Larman y V.R. Basili. Iterative and incremental developments. a brief history. *Computer*, 36(6):47–56, 2003.
- [MVGT13] John Muñoz, Julián Villada, y Jose Giraldo Trujillo. Exergames: a technological tool for the physical activity Abstract. 19:126–130, 07 2013.
- [RB18] Gregory N. Ruegsegger y Frank W. Booth. Health Benefits of Exercise. *Cold Spring Harbor Perspectives in Medicine*, 8:a029694, 7 2018. url: <http://perspectivesinmedicine.cshlp.org/content/8/7/a029694.full><http://perspectivesinmedicine.cshlp.org/content/8/7/a029694><http://perspectivesinmedicine.cshlp.org/content/8/7/a029694.abstract>.
- [SMS⁺17] Aladdin H. Shadyab, Caroline A. MacEra, Richard A. Shaffer, Sonia Jain, Linda C. Gallo, Michael J. Lamonte, Alexander P. Reiner, Charles Kooperberg, Cara L. Carty, Chongzhi Di, Todd M. Manini, Lifang Hou, y Andrea Z. LaCroix. Associations of Accelerometer-Measured and Self-Reported Sedentary

Time with Leukocyte Telomere Length in Older Women. *American Journal of Epidemiology*, 185:172–184, 2 2017.

[WCG⁺19] Kathleen B. Watson, Susan A. Carlson, Janelle P. Gunn, Deborah A. Galuska, Ann O'Connor, Kurt J. Greenlund, y Janet E. Fulton. Physical Inactivity Among Adults Aged 50 Years and Older — United States, 2014. *MMWR. Morbidity and Mortality Weekly Report*, 65:954–958, 9 2019.

[YYC15] Chao YY, Scherer YK, y Montgomery CA. Effects of using Nintendo Wii™ exergames in older adults: a review of the literature. *Journal of aging and health*, 27:379–402, 4 2015. url: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/25245519/>.

Este documento fue editado y tipografiado con \LaTeX empleando la clase **esi-tfg** (versión 0.20181017) que se puede encontrar en:
https://bitbucket.org/esi_atc/esi-tfg

[respeta esta atribución al autor]

