

Grado en Ingeniería Informática
Curso 2017-2018

Trabajo Fin de Grado

“Desarrollo de una aplicación de realidad mixta”

Autor

Hodei Urigoitia Merodio

Tutor

Alejandro Rey López

Leganés, octubre de 2022



Esta obra se encuentra sujeta a la licencia Creative Commons
Reconocimiento – No Comercial – Sin Obra Derivada

Resumen

En este proyecto se ha desarrollado una aplicación de realidad mixta haciendo uso de la plataforma de desarrollo Unity y los sensores Antilatency, sin la necesidad de utilizar controladores y mediante el uso de acciones físicas y cotidianas que permitan al jugador interactuar con el espacio virtual. Las características principales incluidas en el videojuego tratan de mostrar la utilidad que puede llegar a proporcionar la realidad mixta en el sector de los videojuegos, creando experiencias inmersivas y mejorando la formación y el aprendizaje de los usuarios.

En primer lugar, se ha desarrollado la captura del movimiento del jugador haciendo uso de sensores de posición que permiten representar dicho movimiento, de forma proporcional al recorrido en el mundo real, en un espacio virtual.

También se han incluido herramientas virtuales que permiten interactuar con el escenario a través de objetos físicos manejados por el jugador, mediante acciones naturales, haciendo uso de los sensores de posición.

Por último, ha sido tratado el beneficio que proporciona a la formación del usuario utilizar técnicas de realidad mixta, como representaciones del jugador que interactúan con la información del mundo virtual, permitiéndole adquirir conocimiento mediante aprendizaje vicario.

Palabras clave: realidad mixta, aplicación, videojuego, Antilatency, Unity.

Abstract

In this project a mixed-reality based application has been developed making use of Unity, a game development platform, and Antilatency trackers, without the need of using controllers and offering a physical and day-to-day action based interaction. The main features included in the videogame try to show the usefulness that mixed-reality could have in the videogame industry, offering immersive experiences and upgrading the user training.

In the first place, the player's motion capture has been developed through the use of position trackers that represent that motion on a virtual space, proportionally to the real world travelled distance.

It has also been included virtual tools that let the player interact with the scenery through the use of physical objects, using position trackers and real life natural actions.

Lastly, it has also been studied the benefit provided by mixed-reality based techniques to the user training, using player representations that interact with the information of the virtual world, letting the user acquire knowledge through vicarious learning.

Keywords: mixed-reality, application, videogame, Antilatency, Unity.

Índice

Índice de figuras	1
Índice de tablas	3
1. Introducción	6
1.1 Motivación y problema encontrado.....	6
1.2 Objetivos	7
1.3 Recursos utilizados	8
1.3.1 Recursos hardware.....	8
1.3.2 Recursos software	8
1.4 Estructura del documento	9
2. Estado del arte	11
2.1 Realidad virtual, aumentada y mixta	11
Para conocer las razones por las que se ha optado a llevar a cabo la siguiente aplicación, primero han de definirse los conceptos principales y mencionar sus antecedentes.....	11
2.1.1 Definición.....	11
2.1.2 Historia	11
2.2 Dispositivos de realidad virtual	13
2.2.1 Cascos de realidad virtual	13
2.2.2 Accesorios para la realidad virtual	15
2.3 Técnicas de movimiento en realidad virtual	17
2.3.1 Movimiento basado en controladores	17
2.3.2 Dispositivos de locomoción	18
2.3.3 Teletransporte	19
2.3.4 Movimiento redirigido.....	19
2.3.5 Otros tipos de movimiento	20
2.4 Uso de objetos físicos en los videojuegos.....	20
2.5 Ventajas y desventajas de la realidad mixta.....	24
2.5.1 Ventajas	24
2.5.2 Desventajas.....	25
2.6 Motores de videojuegos	25
3. Análisis	27
3.1 Estudio inicial	27
3.2 Casos de uso	28
3.3 Requisitos de usuario.....	36

3.3.1 Requisitos de usuario de capacidad	37
3.3.2 Requisitos de usuario de restricción	43
3.4 Requisitos de software	46
3.4.1 Funcionales	46
3.4.2 No funcionales	51
3.5 Matriz de trazabilidad	56
4. Diseño	58
4.1 Decisiones de diseño	58
4.1.1 Apartado estético y base del videojuego	58
4.1.2 Reparto de los niveles y diseño general	58
4.1.3 Movimiento del jugador	59
4.1.4 Puntos de equilibrio	60
4.1.5 Fantasmas	60
4.1.6 Herramientas	60
4.1.7 Ayudas visuales y auditivas	61
4.2 Arquitectura	61
4.3 Funcionalidades desarrolladas	63
4.4 Descripción de los componentes desarrollados	64
4.4.1 Cámara del jugador y sensor Headquest	64
4.4.2 Llave	65
4.4.3 Farol	65
4.4.4 Sensor de sonido	66
4.4.5 Martillo	67
4.4.6 Suelo de lava	68
4.4.7 Altares	69
4.4.8 Puertas y puentes	69
4.4.9 Pilares	70
4.4.10 Meta	70
4.4.11 Fantasma	71
4.4.12 Barra de equilibrio	71
4.4.13 Límites de seguridad	72
5. Marco regulador	73
5.1 Marco legislativo	73
5.2 Licencias	73
5.3 Buenas prácticas	74
6. Entorno socio-económico	75

6.1 Impacto social	75
6.2 Impacto económico	75
6.3 Presupuesto	76
7. Gestión del proyecto	79
7.1 Planificación	79
7.1.1 Diagramas de Gantt	79
7.1.2 Diagramas de PERT	81
7.2 Plan de gestión de la configuración.....	83
7.2.1 Esquema de identificación.....	83
7.2.2 Biblioteca de almacenamiento.....	83
7.2.3 Biblioteca de back-up	84
7.2.4 Biblioteca del código fuente	84
8. Pruebas	85
8.1 Validación de requisitos de software funcionales	85
8.2 Validación de requisitos de software no funcionales	88
9. Conclusiones	93
9.1 Objetivos cumplidos y conclusiones.....	93
9.2 Futuras líneas de trabajo	95
10. Bibliografía.....	97
Anexo: Glosario de términos	101
Development of a mixed-reality videogame	102
Introduction	102
Motivations.....	102
Objectives	103
Design decisions	103
Game objects.....	105
Tests	111
Socio-economic environment.....	111
Conclusions	112

Índice de figuras

Figura 1. Gráfico de la evolución de las ganancias en el mercado de la realidad virtual orientada a los videojuegos [1].	6
Figura 2. Esquema del Reality-virtualy continuum.	11
Figura 3. Apariencia y diseño de Sensorama [5].	12
Figura 4. Apariencia y diseño de Sword of Damocles [6].	12
Figura 5. Funcionalidad de Virtual Fixtures [7].	13
Figura 6. Esquema de los seis grados de libertad [9].	14
Figura 7. Casco de realidad virtual para móviles [11].	15
Figura 8. Cinta de correr omnidireccional [14].	16
Figura 9. Guantes de datos [15].	17
Figura 10. Virtualizer [19].	18
Figura 11. Aplicación práctica del teletransporte [20].	19
Figura 12. Ejemplo de movimiento redirigido [16].	20
Figura 13. Controlador con forma de volante y marchas de un vehículo real [23].	21
Figura 14. Controlador con forma de caña de pescar [24].	22
Figura 15. Esquema del proyecto realizado por la Upper Austria University of Applied Sciences [25].	23
Figura 16. Representación de los robots utilizados en el proyecto desarrollado por Arizona State University [26].	23
Figura 17. Realidad mixta aplicada a la educación [30].	24
Figura 18. Super Mario 64, un ejemplo de videojuego de plataformas en 3D [37].	27
Figura 19. CU-01, CU-02, CU-03.	29
Figura 20. CU-04, CU-05, CU-06.	31
Figura 21. CU-07, CU-08, CU-09.	33
Figura 22. CU-10, CU-11, CU-12.	35
Figura 23. Técnica de movimiento en realidad virtual basada en el scaling.	59
Figura 24. Arquitectura de la aplicación desarrollada.	62
Figura 25. Cámara del jugador y el objeto Headquest.	65
Figura 26. Llave.	65
Figura 27. Farol.	66
Figura 28. El farol siendo utilizado para iluminar las zonas oscuras.	66
Figura 29. Sensor de sonido.	67
Figura 30. Partículas de luz en la antena del sensor de sonido.	67
Figura 31. Martillo.	68
Figura 32. Suelo de lava.	68
Figura 33. Suelo de lava y bordes decorativos.	68
Figura 34. Altar.	69
Figura 35. La pared tras la que se desplaza la puerta y la propia puerta.	69
Figura 36. Puente.	70
Figura 37. Pilar normal.	70
Figura 38. Pilar agrietado.	70
Figura 39. Meta.	71
Figura 40. Fantasma.	71
Figura 41. Barra de equilibrio.	71
Figura 42. Paredes del límite de seguridad.	72
Figura 43. Diagrama de PERT del desarrollo de la aplicación de realidad mixta.	82
Figura 44. Diagrama de PERT del desarrollo del documento de memoria.	83

Figura 45. Estructura de la biblioteca de almacenamiento.	84
--	----

Índice de tablas

Tabla 1. Plantilla de los casos de uso.....	28
Tabla 2. CU-01.	30
Tabla 3. CU-02.	30
Tabla 4. CU-03.	30
Tabla 5. CU-04.	31
Tabla 6. CU-05.	32
Tabla 7. CU-06.	32
Tabla 8. CU-07.	33
Tabla 9. CU-08.	34
Tabla 10. CU-09.	34
Tabla 11. CU-10.	35
Tabla 12. CU-11.	36
Tabla 13. CU-12.	36
Tabla 14. Plantilla de los requisitos de usuario.	37
Tabla 15. RU-C-01.	37
Tabla 16. RU-C-02.	38
Tabla 17. RU-C-03.	38
Tabla 18. RU-C-04.	38
Tabla 19. RU-C-05.	38
Tabla 20. RU-C-06.	39
Tabla 21. RU-C-07.	39
Tabla 22. RU-C-08.	39
Tabla 23. RU-C-09.	39
Tabla 24. RU-C-10.	39
Tabla 25. RU-C-11.	40
Tabla 26. RU-C-12.	40
Tabla 27. RU-C-13.	40
Tabla 28. RU-C-14.	40
Tabla 29. RU-C-15.	41
Tabla 30. RU-C-16.	41
Tabla 31. RU-C-17.	41
Tabla 32. RU-C-18.	41
Tabla 33. RU-C-19.	42
Tabla 34. RU-C-20.	42
Tabla 35. RU-C-21.	42
Tabla 36. RU-C-22.	42
Tabla 37. RU-C-23.	43
Tabla 38. RU-R-01.	43
Tabla 39. RU-R-02.	43
Tabla 40. RU-R-03.	43
Tabla 41. RU-R-04.	44
Tabla 42. RU-R-05.	44
Tabla 43. RU-R-06.	44
Tabla 44. RU-R-07.	44
Tabla 45. RU-R-08.	44
Tabla 46. RU-R-09.	45
Tabla 47. RU-R-10.	45

Tabla 48. RU-R-11.	45
Tabla 49. RU-R-12.	45
Tabla 50. RU-R-13.	46
Tabla 51. RS-F-01.	46
Tabla 52. RS-F-02.	46
Tabla 53. RS-F-03.	47
Tabla 54. RS-F-04.	47
Tabla 55. RS-F-05.	47
Tabla 56. RS-F-06.	47
Tabla 57. RS-F-07.	48
Tabla 58. RS-F-08.	48
Tabla 59. RS-F-09.	48
Tabla 60. RS-F-10.	48
Tabla 61. RS-F-11.	49
Tabla 62. RS-F-12.	49
Tabla 63. RS-F-13.	49
Tabla 64. RS-F-14.	49
Tabla 65. RS-F-15.	50
Tabla 66. RS-F-16.	50
Tabla 67. RS-F-17.	50
Tabla 68. RS-F-18.	50
Tabla 69. RS-F-19.	50
Tabla 70. RS-F-20.	51
Tabla 71. RS-F-21.	51
Tabla 72. RS-F-22.	51
Tabla 73. RS-NF-REN-01.	52
Tabla 74. RS-NF-INFAZ-01.	52
Tabla 75. RS-NF-INFAZ-02.	52
Tabla 76. RS-NF-INFAZ-03.	53
Tabla 77. RS-NF-RES-01.	53
Tabla 78. RS-NF-RES-02.	53
Tabla 79. RS-NF-RES-03.	53
Tabla 80. RS-NF-RES-04.	54
Tabla 81. RS-NF-RES-05.	54
Tabla 82. RS-NF-RES-06.	54
Tabla 83. RS-NF-RES-07.	54
Tabla 84. RS-NF-SEG-01.	55
Tabla 85. RS-NF-OPE-01.	55
Tabla 86. RS-NF-ACC-01.	55
Tabla 87. RS-NF-USA-01.	55
Tabla 88. RS-NF-USA-02.	56
Tabla 89. RS-NF-USA-03.	56
Tabla 90. RS-NF-USA-04.	56
Tabla 91. RS-NF-USA-06.	56
Tabla 92. Matriz de trazabilidad.	57
Tabla 93. Cálculo del coste por hora del personal.	77
Tabla 94. Cálculo del coste total del personal.	77
Tabla 95. Cálculo del coste del hardware.	77
Tabla 96. Cálculo del coste total del proyecto.	77

Tabla 97. Diagrama de Gantt de la planificación inicial.	80
Tabla 98. Diagrama de Gantt de la planificación final.	81
Tabla 99. Tabla de dependencias entre las distintas tareas.	82
Tabla 100. Plantilla de casos de prueba.	85
Tabla 101. Caso de prueba PS-F-01.	86
Tabla 102. Caso de prueba PS-F-02.	86
Tabla 103. Caso de prueba PS-F-03.	86
Tabla 104. Caso de prueba PS-F-04.	86
Tabla 105. Caso de prueba PS-F-05.	87
Tabla 106. Caso de prueba PS-F-06.	87
Tabla 107. Caso de prueba PS-F-07.	87
Tabla 108. Caso de prueba PS-F-08.	87
Tabla 109. Caso de prueba PS-F-09.	88
Tabla 110. Caso de prueba PS-F-10.	88
Tabla 111. Caso de prueba PS-F-11.	88
Tabla 112. Caso de prueba PS-F-12.	88
Tabla 113. Caso de prueba PS-NF-01.	89
Tabla 114. Caso de prueba PS-NF-02.	89
Tabla 115. Caso de prueba PS-NF-03.	89
Tabla 116. Caso de prueba PS-NF-04.	89
Tabla 117. Caso de prueba PS-NF-05.	90
Tabla 118. Caso de prueba PS-NF-06.	90
Tabla 119. Caso de prueba PS-NF-07.	90
Tabla 120. Caso de prueba PS-NF-08.	90
Tabla 121. Caso de prueba PS-NF-09.	91
Tabla 122. Caso de prueba PS-NF-10.	91
Tabla 123. Caso de prueba PS-NF-11.	91
Tabla 124. Caso de prueba PS-NF-12.	91
Tabla 125. Caso de prueba PS-NF-13.	92
Tabla 126. Caso de prueba PS-NF-14.	92
Tabla 127. Caso de prueba PS-NF-15.	92

1. Introducción

En este primer apartado, se llevará a cabo una introducción a los temas tratados a lo largo del proyecto, desde las motivaciones que han llevado a seleccionarlo y desarrollarlo teniendo en cuenta el contexto en el que se ubica la realidad mixta, hasta la definición de los objetivos y los recursos utilizados para concebirlos. También se mostrará la estructura seguida en la definición de los apartados principales del presente documento.

1.1 Motivación y problema encontrado

Los entornos de realidad virtual, aumentada y mixta se están popularizando con el paso del tiempo. Cada vez son más los usuarios y las aplicaciones prácticas que se le pueden dar a esta tecnología, como los sectores que podrán beneficiarse de la realidad extendida. Concretamente, en el sector del entretenimiento y los videojuegos, se espera que las ganancias obtenidas a partir de la realidad virtual aumenten a 2400 millones de dólares en 2024, comparado con las ganancias obtenidas en 2019, con el valor de 800 millones de dólares [1].

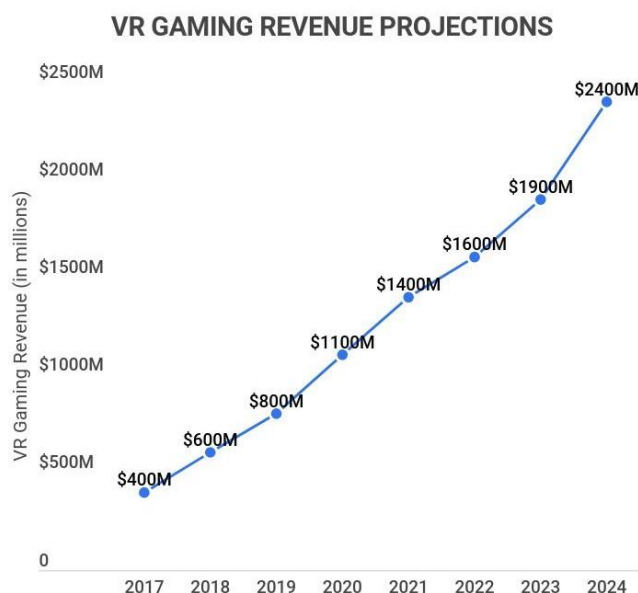


Figura 1. Gráfico de la evolución de las ganancias en el mercado de la realidad virtual orientada a los videojuegos [1].

Así como ocurre con las ganancias, el número de usuarios que utilizan estas tecnologías están en auge, tal y como muestran los datos demográficos que se expondrán a continuación. En 2017, había tan sólo 22 millones de usuarios de realidad virtual en Estados Unidos, cifra que aumentó a 50.2 millones en tan sólo 3 años, para 2020. Se espera que esta cantidad siga aumentando hasta llegar a una suma de casi 70 millones de usuarios para 2023. Respecto a la realidad aumentada, el número de personas que utilizan tecnologías relativas a esta es incluso mayor, alcanzando los 83.7 millones de usuarios en los Estados Unidos [1].

Teniendo en cuenta el contexto descrito, y la gran cantidad de posibilidades que ofrecen estas tecnologías respecto al desarrollo de diferentes proyectos, se han hallado varias razones que han empujado a la selección y al desarrollo de esta aplicación.

En primer lugar, debido al desafío que entraña. El desconocimiento general que se tiene acerca de la realidad mixta y la escasa información proporcionada en los diferentes proyectos que han sido desarrollados han propiciado la motivación necesaria para aprender más acerca de este concepto y de las tecnologías aplicables en su desarrollo. A lo largo del transcurso de los cursos del grado, los conceptos de realidad virtual, aumentada y mixta han sido aludidos en muy pocas ocasiones, pero las suficientes como para despertar el interés. Además, debido a que para el desarrollo del proyecto iba a ser necesaria la utilización de la plataforma de desarrollo de videojuegos Unity, ha resultado ser una razón más para escogerlo, ya que suponía la oportunidad perfecta para aprender a utilizarla. Para la creación de la aplicación de realidad mixta iba a ser necesario el aprendizaje de los conceptos básicos de Unity, lo cual conllevaría al desarrollo de videojuegos tridimensionales tradicionales y de realidad virtual, permitiendo adquirir aún más conocimientos acerca de esta plataforma.

Otra razón para escoger este proyecto ha sido, en perspectiva, lo poco madurada que se encuentra toda esta tecnología. El hecho de poder desarrollar un proyecto centrado en la realidad mixta suponía un aliciente teniendo en cuenta que en los años futuros comenzará a popularizarse, permitiendo arrojar aún más conocimiento a este campo proporcionando información acerca de un área relativamente desconocida comparada con otras tecnologías, pero en constante crecimiento. Además, por estas mismas razones, llevar a cabo un proyecto centrado en la realidad mixta podría ser favorable de cara a futuras oportunidades laborales.

La última razón principal a la hora de seleccionar este proyecto ha sido la utilidad que podría proporcionar a diferentes sectores y, principalmente, al mundo de los videojuegos. Estas ventajas podrían ir desde añadir aún más inmersividad a las experiencias de los jugadores, hasta facilitar el aprendizaje y entendimiento de los controles de los mismos, siendo este proyecto la oportunidad idónea para comprobar las ventajas que podría brindar esta tecnología.

1.2 Objetivos

Como se ha expuesto en el apartado anterior, la realidad mixta puede ser utilizada para obtener beneficios en múltiples áreas, por lo que los objetivos desarrollados para la aplicación se basan, precisamente, en exponer estos beneficios. A pesar de que el objetivo principal del proyecto se ha tratado sobre el desarrollo de un videojuego de realidad mixta mediante el uso de sensores, se ha incluido uno adicional que introduce una característica diferenciadora respecto a otros proyectos similares. Debido a la utilidad que puede proporcionar la realidad mixta a las formaciones se ha incluido este objetivo secundario, que tratará acerca de desarrollar representaciones de usuarios que interactúen con los datos de la misma forma que lo haría un usuario corriente. A continuación, se presentan los objetivos definidos para el proyecto:

- **Desarrollo de un videojuego de realidad mixta:** el objetivo principal del trabajo se trata del desarrollo de una aplicación o videojuego de realidad mixta, inmersivo y que permita interactuar con la información virtual en tiempo real. Esta interacción se hará efectiva mediante el uso del casco de realidad virtual y sensores de posición asociados a diferentes herramientas físicas que podrán utilizarse para relacionarse con los elementos virtuales.

- **Captura del movimiento del usuario:** para el desarrollo de la aplicación será necesaria la captura del movimiento del usuario o, dicho de otra manera, la captura a través del tiempo de su posición y orientación, debido a que para lograr una experiencia inmersiva y una interacción efectiva es necesario que la captura del movimiento tenga una latencia mínima.
- **Interacción con elementos virtuales mediante objetos físicos:** para evitar el uso de controladores y construir una experiencia inmersiva plena, el usuario hará uso de herramientas físicas que, mediante su contraparte en el mundo virtual, servirán para interactuar con los elementos virtuales llevando a cabo acciones cotidianas con ellas. Para lograr este objetivo, se hará uso de múltiples sensores de posición.
- **Ayudas visuales:** se desarrollarán ayudas visuales a través de representaciones del jugador que interactúen con la información y que permitan al propio usuario comprender el funcionamiento del videojuego, a cómo utilizar las herramientas virtuales y a mejorar su trayectoria, todo ello mediante aprendizaje vicario.

1.3 Recursos utilizados

En este apartado se detallarán los recursos, tanto software como hardware, que han sido utilizados para la compleción del trabajo.

1.3.1 Recursos hardware

Se ha hecho uso de los siguientes recursos hardware:

- **Oculus Quest 2:** el casco de realidad virtual utilizado tanto para llevar a cabo las pruebas durante el desarrollo del videojuego como para jugarlo una vez fue finalizada su implementación.
- **Ordenador de sobremesa y portátil:** a lo largo del desarrollo del trabajo han sido utilizados dos ordenadores: por un lado, un portátil utilizado principalmente para llevar a cabo las pruebas del código implementado y, por otro lado, un ordenador de sobremesa dedicado al desarrollo del código y del documento de memoria, así como a tareas de aprendizaje.
- **Sensores Antilatency:** los sensores utilizados para la captura de la posición y orientación del usuario y de las herramientas. Uno de estos sensores iba asociado al casco de realidad virtual, otros dos a cada una de las herramientas físicas y, por último, un suelo de sensores utilizado para la localización física de los tres sensores descritos anteriormente.

1.3.2 Recursos software

Se ha hecho uso de los siguientes recursos software:

- **Visual Studio Code:** se ha utilizado este editor de código fuente para llevar a cabo la implementación del código desarrollado para los scripts de Unity.
- **Microsoft Office:** para el desarrollo del documento de memoria se ha hecho uso de Microsoft Word, mientras que para la creación de algunas de las tablas utilizadas a lo largo de dicho documento se ha hecho uso de Microsoft Excel.

- **Unity 2020.3.29f1:** motor de videojuego multiplataforma y plataforma de desarrollo utilizada para el desarrollo del videojuego creado en este proyecto.
- **Draw.io:** software utilizado para el desarrollo de diferentes diagramas empleados a lo largo del documento de memoria.
- **Google Drive:** servicio de alojamiento de archivos ofrecido por Google utilizado principalmente para llevar a cabo copias de seguridad del documento de memoria, diagramas, tablas, etc.
- **GitHub:** servicio de alojamiento de código que ha sido utilizado para almacenar el código fuente del videojuego, además de servir como sistema de control de versiones del mismo.

1.4 Estructura del documento

A continuación, se mostrará la estructura seguida en el presente documento, ofreciendo una breve descripción del contenido de cada apartado principal:

- **Introducción:** en este primer apartado se introducirá el trabajo realizado, mostrando las motivaciones que han llevado a su desarrollo y los objetivos definidos para llevarlo a cabo.
- **Estado del arte:** en esta sección se expondrá, principalmente, la definición y evolución histórica de la realidad virtual, aumentada y mixta, además de hablar de las ventajas y desventajas de esta última y las diferentes técnicas de movimientos dirigidas a la realidad virtual.
- **Análisis:** este apartado tratará el estudio inicial del videojuego a desarrollar, analizando y definiendo los requisitos de usuario y de software que trazarán el diseño del sistema, además de mostrar los casos de uso del mismo.
- **Diseño:** tras el análisis y la definición de los requisitos, en este apartado, se mostrará la arquitectura del sistema a construir, así como las decisiones tomadas sobre el diseño del mismo, sus principales funcionalidades y los objetos definidos en Unity.
- **Marco regulador:** sección en la que se hará referencia a la legislación vigente sobre la que se ve afectada el videojuego, además de mostrar las licencias necesarias para su desarrollo.
- **Entorno socio-económico:** en este apartado se describirá el posible impacto que podría tener el trabajo desarrollado sobre la sociedad y la economía en líneas generales.
- **Gestión del proyecto:** en base a las diferentes fases que abarca el desarrollo del videojuego y del presente trabajo, se ha definido un cronograma del proyecto teniendo en cuenta la estimación de tiempo disponible para su realización y los recursos. Por lo tanto, en este apartado se incluirá la planificación propuesta, el presupuesto estimado y el plan de gestión de configuración.
- **Pruebas:** en esta sección se mostrarán las pruebas realizadas con el objetivo de validar todos los requisitos definidos anteriormente.

- **Conclusiones:** en este apartado se definirán las conclusiones alcanzadas tras el desarrollo del videojuego, además de mostrar las futuras líneas de trabajo relacionadas con el mismo.
- **Bibliografía:** en esta sección se recogerán todas las citas bibliográficas y referencias utilizadas a lo largo del presente documento.
- **Anexo:** apartado en el que se incluirá la información complementaria al presente documento, como el glosario de términos.
- **Development of a mixed-reality videogame:** breve resumen en inglés de los contenidos del presente documento.

2. Estado del arte

2.1 Realidad virtual, aumentada y mixta

Para conocer las razones por las que se ha optado a llevar a cabo la siguiente aplicación, primero han de definirse los conceptos principales y mencionar sus antecedentes.

2.1.1 Definición

La forma más sencilla de definir este conjunto de conceptos es estableciendo el espectro que abarcan, comenzando por sus puntos extremos.

En un lado del espectro encontramos el mundo real, el cual engloba el conjunto de experiencias existentes que ocurren en la realidad, totalmente alejadas de las ideas abstractas, teóricas e idealizadas [2].

Por otro lado, encontramos el mundo virtual, el cual es una representación simulada por ordenador de un mundo con características físicas y espaciales específicas, en la que los usuarios o jugadores interactúan entre ellos mismos y con su entorno mediante representaciones de sí mismos llamados avatares [3].



Figura 2. Esquema del Reality-virtualy continuum.

Consecuentemente, todo el espectro intermedio entre estos dos puntos se considera realidad mixta. La realidad mixta puede representarse como realidad aumentada o como virtualidad aumentada, dependiendo de en qué lado del espectro se ubique.

La realidad aumentada es un entorno compuesto mayormente por elementos del mundo real, aumentado con cierta parte virtual, complementando la realidad sin reemplazarla y la virtualidad aumentada, un entorno virtual al que se le agregan ciertos elementos reales.

2.1.2 Historia

Debido a que siempre ha sido difícil formular una definición de realidad virtual a pesar de que el concepto de una vida alternativa lleva existiendo desde hace siglos, es complicado establecer el momento exacto desde el que partió esta tecnología [4].

A pesar de esto, sus inicios se podrían ubicar en los años 50, coincidiendo con uno de los primeros pasos que se dieron a favor de construir estos sistemas de realidad virtual.

En 1955, Morton Heilig escribió un artículo titulado "The Cinema of the Future" en el que describía su idea de teatro multisensorial. La idea principal trataba sobre llamar la atención del espectador captando todos sus sentidos. De esta manera, en 1962, el mismo Heilig construyó un prototipo de la máquina que describió años atrás y a la que llamó Sensorama. Esta máquina disponía de una pantalla tridimensional,

ventiladores, emisores de olor, un sistema de sonido estéreo y una silla que simulaba el movimiento, abarcando así casi todos los sentidos [5].



Figura 3. Apariencia y diseño de Sensorama [5].

Unos años después, en 1968, Ivan Sutherland junto con uno de sus estudiantes creó el que se piensa que es el primer sistema de visualización que iba montado en la cabeza. Este sistema se nombró como Sword of Damocles y disponía de características de seguimiento tridimensional. [6]



Figura 4. Apariencia y diseño de Sword of Damocles [6].

En la década de los 90, llegó la primera experiencia en realidad aumentada. Este sistema, conocido como Virtual Fixtures, fue desarrollado por Louis Rosenberg. Haciendo uso de un exoesqueleto de cintura para arriba y unas gafas, los usuarios podían mover sus brazos mientras veían los brazos del exoesqueleto donde deberían estar los suyos. Además, el sistema hacía uso de barreras y guías generadas por ordenador para asistir a los usuarios mientras realizaban tareas reales [7].



Figura 5. Funcionalidad de Virtual Fixtures [7].

Esta tecnología fue evolucionando discretamente hasta la década del 2010, en la cual su uso y desarrollo comenzó a crecer con el primer prototipo de Oculus Rift, un casco de realidad virtual.

2.2 Dispositivos de realidad virtual

Una pieza clave dentro de los escenarios de realidad virtual son los propios dispositivos que permiten reproducirla e interactuar con ella. Estos dispositivos se dividen en múltiples grupos con sus propias características que se definirán a continuación.

2.2.1 Cascos de realidad virtual

Los cascos de realidad virtual son dispositivos compuestos principalmente por una pantalla con un gran campo de visión que puede llegar a ser de 110° dependiendo del fabricante. Pueden llegar a contar con diferentes propiedades como pueden ser el sonido integrado, incorporación de cámaras en el propio casco y sensores que permiten la captura del movimiento de ojos, cabeza y manos [8].

Estos dispositivos también tienen subdivisiones que los distinguen entre ellos:

- **Casco de realidad virtual para PC:** este tipo de cascos utilizan cables que los conectan a los ordenadores. Debido a que los videojuegos, simulaciones y demás experiencias son reproducidos en los dispositivos a los que se conectan los cascos, disponen de una gran capacidad de hardware que es vertida directamente en el sonido y la imagen del software que se esté reproduciendo, brindando, en ese aspecto, una sensación de realidad mucho mayor que en otros tipos de cascos [8].

Por otro lado, al depender totalmente de los cables para conectarse al PC y ejecutar las aplicaciones reduce o limita la libertad de movimiento del usuario. Además, la movilidad se ve altamente afectada por razones similares; habitualmente los sensores de movimiento no suelen ir alojados en el casco, sino que se colocan físicamente en la habitación rodeando la zona de juego. Esto limita aún más al jugador, ya que dependerá de los sensores, de un

ordenador y de los propios cables que conecten los dispositivos entre sí y a la propia corriente para poder disfrutar de experiencias de realidad virtual [9]. Un ejemplo de este tipo de cascos son Oculus Rift y HTC Vive.

- **Cascos de realidad virtual autónomos:** estos cascos incorporan una batería y un procesador que permiten reproducir las experiencias de realidad virtual y mixta sin tener que conectarse a ningún otro dispositivo, ya que es posible almacenar las aplicaciones en su interior. Además, también disponen de sensores integrados que permiten la localización y orientación espacial del dispositivo.

Al incorporar su propio procesador, el nivel de calidad de las imágenes y del sonido se pueden ver afectados cuando se comparan con un casco de realidad virtual para PC, sin embargo, los cascos autónomos disponen de una mayor ventaja frente a estos.

Al tener sensores integrados que permiten posicionar y orientar el dispositivo de forma relativa a las coordenadas reales, estos gozan de los 6 grados de libertad, pudiendo orientar y mover la cámara del videojuego o simulación sin depender de ningún otro dispositivo externo, como es el caso de los cascos para PC. Este concepto se definirá más adelante, en el apartado de las técnicas de movimiento en realidad virtual. Esto permite no solo un mayor grado de inmersión para el usuario, sino la capacidad de poder utilizar estos dispositivos en cualquier lugar y, en consecuencia, aumentar la cantidad de aplicaciones que es posible reproducir en ellos [9].

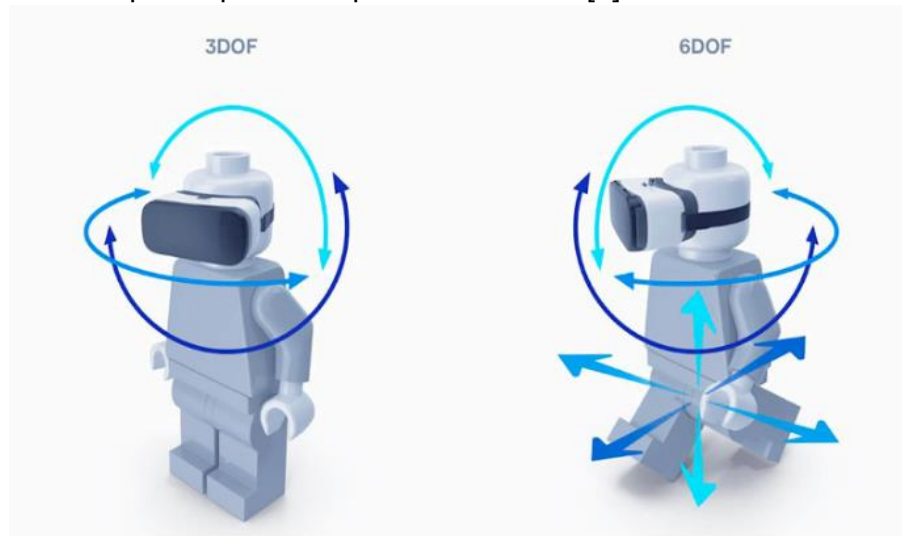


Figura 6. Esquema de los seis grados de libertad [9].

Un ejemplo de este tipo de cascos sería Oculus Quest 2.

- **Cascos de realidad virtual para móviles:** estos cascos permiten encajar un móvil en su interior y mediante el uso de una lente que convierte su pantalla en una imagen tridimensional, es posible utilizar dichos dispositivos para reproducir aplicaciones o experiencias de realidad virtual.

Comparado con los anteriores 2 tipos de cascos, estos son los que menor capacidad inmersiva poseen, ya que el procesamiento de las aplicaciones en su totalidad se lleva a cabo por el propio móvil. La montura o el casco es tan solo un elemento compuesto por plástico, fibra y la lente; no cuenta con

sensores integrados ni es capaz de posicionarse u orientarse, relegando toda la generación de la experiencia de realidad virtual al dispositivo que se le conecte [8].

Por estas mismas razones, una de las mayores ventajas que pueden encontrarse en este tipo de cascos es su precio, ya que suelen ser relativamente asequibles comparado con los otros dos tipos. Un ejemplo de este tipo de cascos es el Samsung Gear VR [10].



Figura 7. Casco de realidad virtual para móviles [11].

2.2.2 Accesorios para la realidad virtual

El segundo gran grupo de dispositivos para la realidad virtual se encuentra en forma de accesorios que facilitan o ayudan en ciertos aspectos de esta, como la posibilidad de permitir que el usuario se mueva sin límites físicamente, mejorar la precisión de la captura del movimiento de las manos, dispositivos de olores, etc. A continuación, se mostrarán algunos de estos accesorios:

- **Dispositivos olfativos:** una de las incorporaciones más recientes a la gama de accesorios para la realidad virtual. Este dispositivo, generalmente, dispone de un pequeño ventilador que dispersa moléculas de un líquido aromatizado que dispone el aparato. La cantidad liberada puede variar dependiendo de la distancia a la que el usuario se encuentre del elemento que activa la acción. Este dispositivo se conecta a la parte frontal inferior del casco de realidad virtual mediante cableado o por medios inalámbricos como Bluetooth o Wifi. A día de hoy se trata todavía de un accesorio limitado del que se están creando muchos prototipos, pero que podría llegar a ofrecer en un futuro cercano de una experiencia inmersiva mayor que la conocida hasta ahora [12].
- **Cintas de correr omnidireccionales:** a diferencia de las cintas de correr tradicionales, que solo permiten moverse en un solo eje, las omnidireccionales permiten al usuario desplazarse en todas las direcciones, pudiendo reforzar la inmersión de muchos tipos de experiencias, además de abrir el camino para nuevos tipos de aplicaciones de realidad virtual y mixta. Este accesorio podría resolver el problema del movimiento en videojuegos o simulaciones en los que es necesario recorrer grandes distancias,

sustituyendo los controladores que suelen utilizarse para este fin, añadiendo más realismo a las acciones llevadas a cabo y, además, permitiendo que los usuarios puedan ejercitarse conjuntamente mientras utilizan los cascos de realidad virtual [13].



Figura 8. Cinta de correr omnidireccional [14].

- **Guantes de datos:** los guantes de datos son dispositivos que permiten la captura precisa del movimiento de las manos de los usuarios de los cascos de realidad virtual. Esta captura permite la representación exacta de las manos en las simulaciones o videojuegos, mejorando la interacción entre la persona y el mundo virtual y facilitando la captura de muchos tipos de acciones, como el uso del lenguaje de signos o la propia manipulación de objetos virtuales. En algunos casos, estos guantes permiten incluso representar el sentido del tacto, brindando un nuevo significado a la interacción [15].



Figura 9. Guantes de datos [15].

Como se puede apreciar, tanto el uso de algunos de estos dispositivos por separado como en conjunto, permitirían a los usuarios de experiencias de realidad virtual e incluso mixta interactuar de una manera más eficiente con el mundo simulado y sus elementos. Esto podría abrir las puertas a futuros diseños y desarrollos donde una mejora de estos dispositivos o incluso la creación de otros totalmente innovadores puedan brindar una experiencia cada vez más cercana a la real.

2.3 Técnicas de movimiento en realidad virtual

Una problemática habitual desde los inicios de la realidad virtual ha sido cómo definir el movimiento del usuario, debido en parte a que la distancia a recorrer en espacios virtuales suele ser, habitualmente, mayor que el espacio físico disponible. Esto ha llevado a plantearse y desarrollar múltiples formas de desplazamiento teniendo en cuenta, principalmente, establecer una experiencia lo más cercana posible a la real y el aprovechamiento del espacio físico. A continuación, se procederá a mostrar y explicar varias de las técnicas de movimiento más habituales, además de algunas nuevas soluciones que se están implementando [16].

2.3.1 Movimiento basado en controladores

Se trata de la técnica de movimiento más extendidas en aplicaciones de realidad virtual por su fácil implementación y coste comparado con el resto. Esta técnica se basa en el uso de los dos joystick o palancas de mando que suelen traer los propios cascos de realidad virtual. Una de estas palancas permite controlar la posición en un espacio tridimensional, mientras que la otra permite controlar la orientación. Haciendo uso de ambas simultáneamente es posible lograr los 6 grados de libertad; moverse a través de los ejes X, Y y Z (traslación) y girar para posicionarse frente a un eje diferente (rotación), como se puede apreciar en la figura 6 [17].

Una de los inconvenientes de la utilización de esta técnica es la aparición de sensación de mareo por movimiento o cinetosis. Este síndrome ocurre cuando el movimiento percibido por el sistema vestibular, relacionado con el control espacial y el equilibrio, no concuerda con el movimiento percibido visualmente. Aproximadamente, el 33% de la población es susceptible a este síndrome, mientras que el resto solo se ve afectada en situaciones extremas. Aparte de la inmersividad, el mareo por movimiento al utilizar controladores es otra de las principales razones por las que se investigan y desarrollan otras técnicas de movimiento, ya que los

usuarios son susceptibles a verse afectados por este síndrome más que con cualquiera otra técnica, al permanecer inmóviles mientras se desplazan visualmente [18].

2.3.2 Dispositivos de locomoción

Otra técnica de movimiento habitual se basa en el uso de dispositivos de locomoción, permitiendo a los usuarios simular la acción del movimiento en espacios reducidos e, incluso, en espacios que no les permiten siquiera desplazarse [16].

Algunos de estos dispositivos utilizan zapatos especiales para crear la sensación de movimiento, como los patines. Una de las formas de aplicar este concepto es sujetando al usuario desde la cintura mediante un cinturón conectado a una construcción que se encuentra anclada al suelo, permitiendo que utilice los patines para simular el desplazamiento sin necesidad de cambiar de posición en el mundo real. Otra de las maneras es utilizando similarmente unos patines, incluyendo en estos un pequeño motor que devuelve al usuario a la posición original desde la que partió [16].

Otros dispositivos son los descritos en el apartado 2.2.2, las cintas de correr omnidireccionales, que permiten a los jugadores desplazarse en todas las direcciones a través de una cinta que cambia de dirección dependiendo del movimiento del propio usuario. Una solución más novedosa podría tratarse de un dispositivo similar al anterior, pero mejor adaptado al desplazamiento y a otros tipos de acciones, como por ejemplo Virtualizer. Se trata de una superficie rígida que, a diferencia de las cintas, imitan el mismo desplazamiento que el del usuario. Esta superficie, la cual produce una fricción insignificante al ser utilizada con un calzado especial, permite al usuario simular el movimiento (e, incluso, llevar a cabo acciones como agacharse o saltar) haciendo que sus pies vuelvan siempre a la posición original, como si se moviese sobre un trozo de hielo [16] [19].

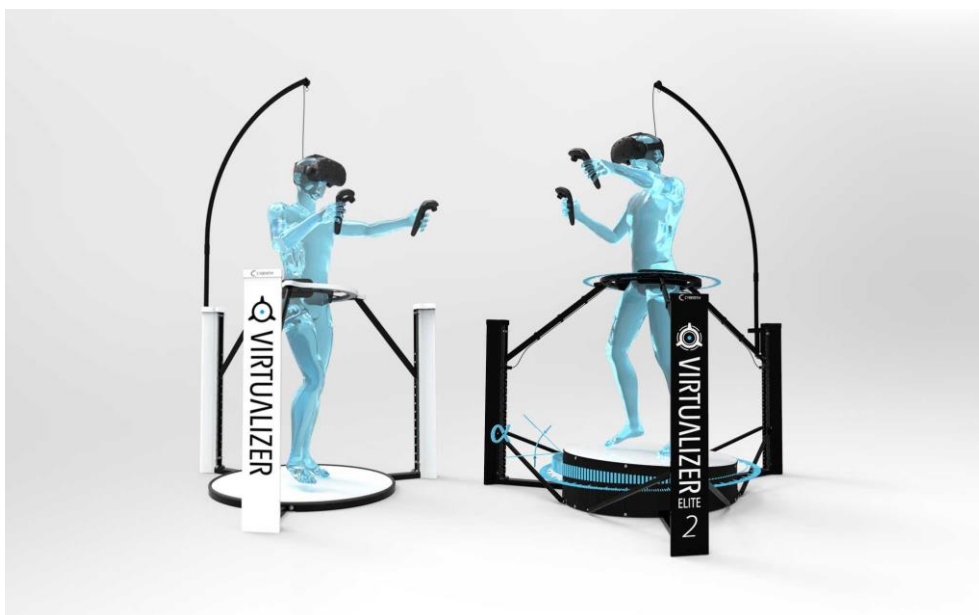


Figura 10. Virtualizer [19].

2.3.3 Teletransporte

Esta técnica se basa en el uso de medios que permiten acelerar el movimiento en espacio virtuales grandes o transportar a los usuarios de una zona de dicho espacio a otra instantáneamente. Se tratan de técnicas de desplazamiento que no existen en la realidad, pero que resultan beneficiosas en otros aspectos.

Entre las formas de teletransporte más habituales se encuentran los portales, los cuales suelen estar representados como puertas que permiten transportar al usuario de un punto en el espacio virtual a otro, independientemente de la distancia a la que se encuentre. Estos portales pueden funcionar de manera bidireccional siendo relativamente intuitivos, debido a que los usuarios tan solo deben cruzar una puerta para llegar a otra sala. Esta técnica suele utilizarse habitualmente para poder recorrer una zona virtual mayor que la zona física que es utilizada por el usuario [20].



Figura 11. Aplicación práctica del teletransporte [20].

Otro método existente dentro de esta técnica de movimiento es desplazarse volando de un lugar a otro. En un experimento mencionado por [21], se utiliza el vuelo para recorrer grandes distancias en espacios virtuales, utilizando la dirección a la que apuntaba una mano virtual o la propia dirección de la cabeza del usuario para mover su avatar en dicha dirección, sin necesidad de desplazarse en el mundo real.

2.3.4 Movimiento redirigido

Esta técnica manipula las señales visuales del jugador para permitirle recorrer distancias mayores a las recorridas en el espacio físico disponible. Su lógica se basa en rotar la escena de forma imperceptible cuando el jugador realizar un giro para moverse en otra dirección. De esta manera, es posible controlar su trayectoria permitiendo, por ejemplo, permitir que el usuario regrese de nuevo al punto de partida físico sin necesidad de hacer que retire el casco de realidad virtual para posicionarlo de nuevo en dicho lugar, manteniendo la sensación de inmersión de la experiencia [16].

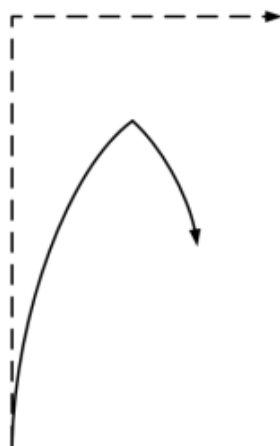


Figura 12. Ejemplo de movimiento redirigido [16].

Como se puede apreciar en la figura 12, la línea de puntos representa la distancia recorrida en el espacio virtual, mientras que la sólida representa el movimiento físico del jugador. Mediante la rotación imperceptible de la escena cuando el jugador cambia de dirección, es posible realizar un giro de 90° en el espacio virtual a través de un giro más cerrado en el espacio físico, reduciendo notablemente la distancia física recorrida por el jugador.

2.3.5 Otros tipos de movimiento

Existen otros tipos de técnicas de movimiento que pueden ser aplicadas a la realidad virtual y mixta, entra las cuales se encuentra el scaling. Esta técnica consiste en la utilización del espacio físico disponible para el movimiento del usuario, permitiendo que pueda ser utilizado para recorrer grandes distancias en el espacio virtual. En caso de que el jugador recorra una distancia en línea recta de 2 metros, sería posible escalar dicho tramo en el mundo real la cantidad necesaria para permitir el acceso a todas las zonas del mundo virtual; por ejemplo, escalando la distancia virtual recorrida el doble que la física, dicho usuario recorrería 4 metros en lugar de dos en el espacio virtual. La figura 23 en el apartado 4.1.3 muestra una esquematización de este concepto.

2.4 Uso de objetos físicos en los videojuegos

Durante años, desde las primeras apariciones de dispositivos electrónicos, del software y, en general, de los propios videojuegos, las barreras que separaban el mundo físico del virtual han sido inamovibles. Por ejemplo, la forma de llevar a cabo una acción mediante un avatar en un videojuego dependía en su totalidad de un teclado, ratón o controlador. Sin embargo, durante las últimas décadas, estas barreras han ido menguando en ciertos aspectos hasta llegar a ser nada más que un fino panel que separa los dos mundos: el físico y el virtual [22].

Hoy en día, más que nunca, realizar una acción como puede ser el propio movimiento del avatar puede ejecutarse de forma equivalente al propio movimiento del jugador, mediante el uso de sensores u otros dispositivos que permiten entremezclar las dos acciones para dar un nuevo significado a la interacción.

Este no es el caso de tan solo la representación del jugador en los videojuegos, sino el de los propios objetos que pueden encontrarse en ellos, ya que es posible hacer

uso de elementos físicos que permitan interactuar de una forma más inmersiva simulando y representando acciones realizadas en el mundo real.

En las consolas clásicas, como la Play Station 3, existen dispositivos que sustituyen completamente los controladores que suelen utilizarse para jugar a la mayoría de videojuegos como es el caso de los videojuegos de conducción, en los que es posible conectar un controlador con forma de volante para lograr una experiencia más realista. Dicho volante, generalmente, cuenta con los mismos botones que un controlador clásico, sin embargo, suele disponer de más entradas de información; el volante puede rotarse para mover el coche de izquierda a derecha y los pedales se utilizan para arrancar, frenar y cambiar las marchas, como se harían en el mundo real. Un ejemplo de este controlador puede apreciarse en la figura 13.



Figura 13. Controlador con forma de volante y marchas de un vehículo real [23].

En las consolas y videojuegos de realidad virtual también encontramos el uso de objetos físicos que sirven para aumentar la sensación de realidad que percibe el jugador. Varios ejemplos prácticos son los propios accesorios de los controladores de Oculus Quest 2, a los que es posible añadirles diferentes tipos de “moldes” que convierten ambos controladores en herramientas para interactuar en el mundo virtual.

Existen muchos accesorios, entre los cuales podemos encontrar empuñaduras de pistolas para videojuegos de disparos, guantes para videojuegos de boxeo e incluso carretes de pesca para simuladores de pesca (figura 14). Estos elementos, sumados a la propia sensación inmersiva de las gafas, potencian la experiencia haciendo que el jugador, por un lado, sea capaz de ver el objeto virtual y, por otro lado, que lo sienta gracias a los accesorios de los mandos.



Figura 14. Controlador con forma de caña de pescar [24].

Aunque los objetos físicos más utilizados en los videojuegos sean los controladores que simulan elementos reales y los accesorios para estos, no implica que sean los únicos. En experiencias y videojuegos de realidad mixta es posible encontrar una gama de objetos muy variada como, por ejemplo, los que se pueden ver en el proyecto realizado por la Upper Austria University of Applied Sciences, como se verá a continuación.

Este trabajo se basaba en el clásico dominó; se utilizaban fichas reales y virtuales que, formando recorridos en los que se alternaban ambos grupos, se hacían pasar por ciertos “portales”. Estos últimos eran elementos físicos que disponían de sensores y partes mecánicas que, al detectar la caída de una pieza física en su interior, accionaban una pequeña palanca que empujaba la primera pieza virtual del siguiente segmento del recorrido y viceversa. De esta forma, se entremezclaban tanto el mundo físico como el real a través de los “portales” que servían de medio de comunicación entre ambos. En este caso, estos objetos físicos no se utilizaban para mejorar la experiencia del jugador, ni aumentar la sensación de realidad, sino para poder personalizar las partidas y configurar los diferentes recorridos que quisiesen llevarse a cabo. [25]

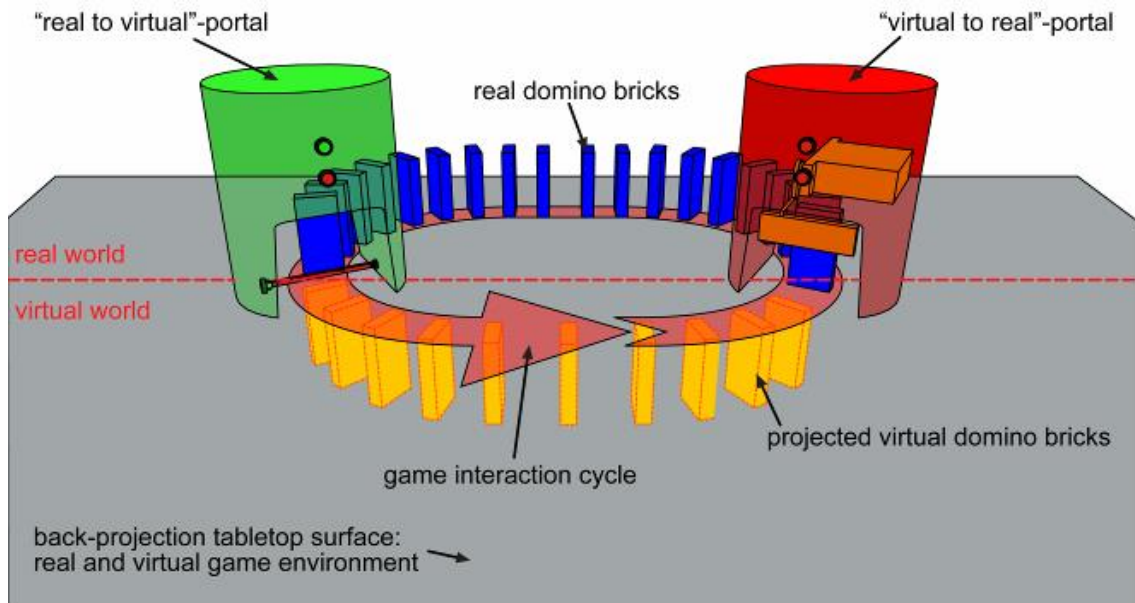


Figura 15. Esquema del proyecto realizado por la Upper Austria University of Applied Sciences [25].

Otro ejemplo de objetos físicos utilizados en videojuegos y experiencias de realidad mixta es el caso de un proyecto desarrollado por Arizona State University. En este caso, se establece un tablero en el que se superponen robots equipados con sensores, cámaras y mecanismos que les permiten moverse. Es posible agregar encima del tablero puntos de referencia virtuales con los que los robots son capaces de interactuar, haciendo, por ejemplo, que esos puntos de referencia sean considerados como barreras por estos. De esta forma, se podrían considerar múltiples escenarios que los robots podrían resolver por su cuenta, como laberintos e, incluso, darles nuevos significados a los puntos de referencia para que los robots interactúan de distintas maneras con ellos. [26]

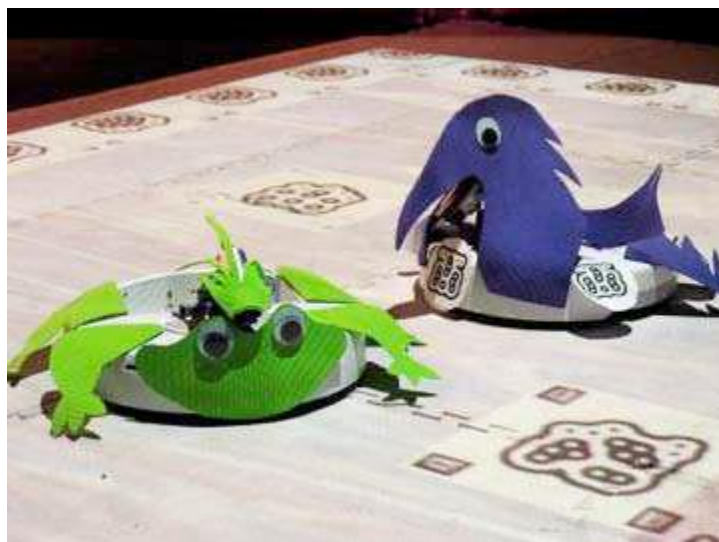


Figura 16. Representación de los robots utilizados en el proyecto desarrollado por Arizona State University [26].

Como se puede ver, en el caso de los videojuegos y experiencias de realidad mixta, las posibilidades son infinitas. Sería posible integrar todo tipo de objetos a este tipo de escenarios; por ejemplo, se podría utilizar un martillo real en un

simulador para poner clavos en una superficie virtual o, de la misma manera, una linterna que ilumine zonas oscuras de una habitación dentro de un videojuego. Esto plantea la siguiente pregunta: ¿realmente existe un límite a la cantidad de objetos físicos que es posible utilizar en experiencias de realidad mixta?

2.5 Ventajas y desventajas de la realidad mixta

Debido a que en el desarrollo de esta aplicación la atención se centrará en la realidad mixta, a continuación se expondrán las ventajas y desventajas que ofrece dicho entorno.

2.5.1 Ventajas

Aunque haya numerosas ventajas cuando se habla de realidad mixta, se procederán a describir tan solo las principales:

- **Facilitar el aprendizaje:** la realidad mixta puede ayudar a facilitar el aprendizaje, debido a que se trata de una experiencia inmersiva, facilitando la exploración y la interacción con los diferentes temas y elementos con los que se trabajan [27].
- **Polivalencia:** la cantidad de campos y ámbitos que se pueden beneficiar de esta tecnología son incontables, a pesar de que aún no se ha perfeccionado del todo, siendo muy probable que el abanico siga creciendo durante los próximos años.

A día de hoy, ya se está comenzando a utilizar la realidad mixta en sectores como la medicina, más concretamente en entrenamiento clínico. También, por ejemplo, en el ámbito militar, en el que se utiliza para el entrenamiento de los soldados en el ejército de los Estados Unidos [28] [29].



Figura 17. Realidad mixta aplicada a la educación [30].

- **Desaparición de los límites:** la realidad mixta permite romper con los límites del espacio y del tiempo, haciendo posible la visualización y la interacción

con elementos del pasado, como podrían ser los animales prehistóricos, o con elementos del futuro, como proyectos (arquitectónicos, industriales, etc.) que se estén desarrollando en este momento e incluso acercar a las personas a lugares lejanos, como a la superficie de otro planeta u otra localización de interés en nuestro propio planeta [27].

- **Influencia en el mundo empresarial:** esta tecnología podría ser utilizada para el desarrollo de nuevos productos y servicios e incluso para la mejorar de múltiples procesos empresariales.

Por un lado, se podría optimizar la formación de los propios trabajadores en lo que a tiempo, coste y calidad se refiere; en lugar de utilizar manuales, podrían beneficiarse utilizando la realidad mixta como si asistiesen a uno de estos cursos presencialmente.

Por otro lado, se podría facilitar el entendimiento por parte de los usuarios de diferentes dispositivos y tecnologías pudiendo visualizar de forma gráfica e inmersiva el funcionamiento de estas [27] [31].

2.5.2 Desventajas

A pesar de que se trata de una tecnología en auge y que ofrece infinitas posibilidades, también se pueden encontrar ciertos inconvenientes:

- **Inmersión reducida:** debido a que se trata de una tecnología en desarrollo, aún no se ha alcanzado un estado de inmersión pleno, ya que estas experiencias siguen presentando fallos [27].
- **Hardware exigente y coste:** actualmente es necesario que los dispositivos de realidad mixta dispongan de un hardware lo suficientemente potente como para permitir la ejecución de los diferentes entornos y aplicaciones, ya que de no ser así podrían causar fallos y ralentizaciones que afectaría de manera negativa a la inmersión del usuario.

Además, por esta misma razón, estos dispositivos sufren de un coste excesivamente elevado que limita su acceso para los usuarios corrientes [27] [32].

- **Formación e investigación:** aunque se trate de una tecnología en auge, actualmente su desarrollo se ve en buena medida limitado ante la escasa investigación que existe en el sector, ralentizando el avance del mismo. También hay que tener en cuenta que esta tecnología requiere de un grado de conocimientos muy específicos para trabajar sobre ella, lo cual, de la misma manera, ralentiza la incorporación de nuevas mentes a la investigación de estos recursos [27].

2.6 Motores de videojuegos

Existen múltiples motores de videojuegos dirigidos al desarrollo de aplicaciones en realidad virtual, aumentada y mixta, pero antes de comenzar a nombrar y mostrar las principales características de dichos motores, es conveniente definir qué son y qué propiedades poseen.

Los motores de videojuegos son un entorno de trabajo de software, los cuales incluyen una serie de librerías relevantes que permiten el diseño, el desarrollo y la representación de un videojuego. Estos entornos ofrecen una serie de facilidades que ayudan a los desarrolladores a llevar a cabo todas las tareas relacionadas con la creación de los videojuegos, como pueden ser un motor gráfico para el renderizado de los diferentes elementos que conforman el videojuego, motores de físicas o de colisiones, etc [33] [34].

Entre los principales motores de videojuegos que se ofrecen en el mercado actualmente, se describirán dos de los más populares:

- **Unity [35]:** uno de los motores de videojuegos más extendidos debido a la gran flexibilidad que ofrece en sus desarrollos, pudiendo utilizarse para crear videojuegos en 3D y 2D, además de experiencias en realidad virtual, aumentada y mixta o simulaciones.

En las versiones más recientes, Unity ofrece el lenguaje de programación C# para el desarrollo de los videojuegos, corriendo el scripting por parte de Mono, una implementación de código abierto de .NET Framework.

Al ser un motor multiplataforma, es posible el desarrollo de videojuegos orientados a una gran cantidad de plataformas, entre las que principalmente se encuentran:

- Plataformas móviles como iOS y Android.
- Sistemas operativos como Windows, MacOS y Linux.
- Plataformas web como WebGL.
- Videoconsolas como PlayStation, Xbox y Nintendo Switch.
- Plataformas y consolas de realidad virtual como Oculus, PlayStation VR y Steam VR.

Asimismo, los desarrolladores pueden compartir y vender elementos creados por sí mismos en Unity a través de la Unity Asset Store; desde entornos 3D y 2D hasta objetos y modelos diseñados por ellos.

Entre los videojuegos más populares construidos con Unity se pueden encontrar Pokémon GO, Cuphead, Hollow Knight, Call of Duty: Mobile y Phasmophobia.

- **Unreal Engine [36]:** otro de los motores de videojuegos más extendido, aunque también se ha utilizado para llevar a cabo escenarios virtuales en la industria del cine. Al igual que Unity, es utilizado para desarrollar videojuegos en 3D, además de experiencias en realidad virtual, aumentada y mixta. Es relativamente habitual que se desarrollen videojuegos AAA mediante este motor.

Otras características compartidas con Unity son el lenguaje del scripting utilizado, ya que actualmente corre a cargo de C# y el tratarse de un motor de videojuegos multiplataforma, ya que permite el desarrollo orientado a una gran cantidad de plataformas:

- Plataformas móviles como iOS y Android.
- Sistemas operativos como Windows, MacOS y Linux.
- Videoconsolas como PlayStation, Xbox, Nintendo Switch y Stadia.
- Plataformas y consolas de realidad virtual como Oculus, PlayStation VR, HoloLens 2, Samsung Gear VR, etc.

Actualmente se trata de un motor de videojuegos gratuito, el cual también incluye una tienda virtual llamada Unreal Engine Marketplace en el que los desarrolladores pueden compartir y vender los diferentes elementos creados por ellos, como sonidos, modelos, escenarios, etc.

Entre algunos de los videojuegos más populares construidos mediante Unreal Engine se pueden encontrar Fortnite, Star Wars Jedi: Fallen Order, Sea of Thieves y Little Nightmares.

3. Análisis

El primer paso antes de comenzar a diseñar e implementar la aplicación es realizar un análisis para esbozar las primeras ideas sobre esta. Tras esto, se definirán los requisitos de usuario y de software, que plasmarán las funcionalidades y capacidades que tendrán tanto el usuario como el sistema, respectivamente.

3.1 Estudio inicial

Partiendo de la base de que la aplicación tenía que desarrollarse en realidad mixta y que tenía que contar con el uso de unas gafas de realidad virtual y de los sensores Antilatency, para capturar la posición de diferentes elementos físicos, el primer paso ha sido definir en qué consistiría esta aplicación.

Aprovechando la disponibilidad del suelo de sensores, se ha decidido desarrollar un videojuego de plataformas tridimensional en el que el jugador puede desplazarse por este suelo y trasladar la información de su posición y orientación al escenario virtual. Este videojuego dispone de ciertos caminos o rutas que permiten al jugador alcanzar la meta desde la posición inicial en la que comienza al inicio de la partida. Para añadir cierta sensación de riesgo al recorrer los niveles, se ha decidido ambientarlo en el interior de un volcán, en el que el nivel de la lava va elevándose lentamente, forzando al jugador a completar el nivel lo antes posible. Asimismo, para añadir variedad a los diferentes niveles, se han personalizado lo suficiente como para que las decisiones tomadas en uno no influyan en el siguiente.



Figura 18. Super Mario 64, un ejemplo de videojuego de plataformas en 3D [37].

Haciendo uso de los sensores individuales de posición y para añadir un grado mayor de inmersión, también se han creado ciertas herramientas virtuales asociadas a

objetos físicos que tienen adheridos estos sensores. De esta forma, es posible para el jugador interactuar con el escenario y los elementos virtuales llevando a cabo acciones en el mundo real. Entre las herramientas creadas se encuentran una llave que permite interactuar con ciertos elementos del escenario, como desbloquear puertas y puentes, un farol que ilumina el entorno alrededor del jugador, un martillo que permite arreglar el camino para que sea posible cruzarlo con seguridad y un sensor de sonido que indica la distancia a la que se encuentra la meta.

Por último, ya que sería interesante observar cómo otro jugador interactúa con la información y con el escenario, se ha valorado el incluir fantasmas que imiten o simulen las acciones llevadas a cabo por un jugador genérico de manera que el jugador pueda conocer las mecánicas del videojuego a través de un aprendizaje vicario.

Independientemente, en el apartado 4 se mostrarán de forma más extensa las decisiones tomadas en el diseño de la aplicación, ya que algunas de las características descritas anteriormente han sido expandidas para darle más completitud al videojuego.

3.2 Casos de uso

A continuación, se definen los casos de uso para la aplicación, que tratarán de describir las diferentes acciones que pueden ser llevadas por el jugador. Estos casos de uso muestran cómo interactúa dicho jugador con el menú y el desarrollo de cada una de las partidas.

En primer lugar, se mostrará el diagrama de cada uno de los casos de usos, el cual irá acompañado por una o varias tablas que describirán de forma más extensa la lógica mostrada en dicho diagrama, como se ve en la tabla 1.

Identificador de caso de uso	
Descripción	
Actores	
Flujo predeterminado/ Flujo alternativo	
Precondiciones	
Postcondiciones	

Tabla 1. Plantilla de los casos de uso.

- **Identificador de caso de uso:** código que identifica unívocamente cada caso de uso. Este identificador sigue la siguiente estructura:

CU-<número identificador del caso de uso>

- **Actores:** actor o actores implicados en el caso de uso; indica el encargado de realizar dicho caso de uso.
- **Flujo predeterminado/flujo alternativo:** indica el proceso que ocurrirá con más frecuencia al llevar a cabo el caso de uso. En caso de que existan más flujos que el jugador puede seguir, se indicarán en este mismo punto en una nueva tabla.
- **Precondiciones:** indica las condiciones que deberán satisfacerse para poder llevar a cabo la acción definida en el caso de uso.
- **Postcondiciones:** tras desarrollarse el caso de uso, se indicará en qué estado queda el sistema.

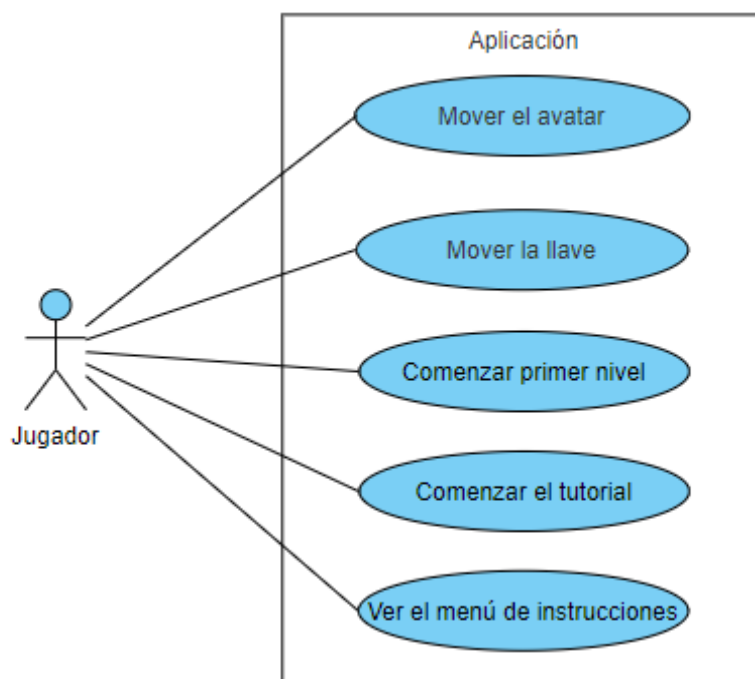


Figura 19. CU-01, CU-02, CU-03.

CU-01	
Descripción	Mostrar el funcionamiento del menú inicial y cómo se pueden comenzar tanto el modo de juego normal y el tutorial, así como abrir el menú de instrucciones.
Actores	Jugador
Flujo predeterminado	1. El jugador se mueve hasta el altar del modo de juego. 2. El jugador colisiona la llave con el altar del modo de juego.
Precondiciones	• El jugador dispone de las gafas de realidad virtual conectadas. • El jugador dispone del objeto físico asociado a la llave. • La aplicación se encuentra iniciada.

	El jugador se encuentra en el menú inicial.
Postcondiciones	Se inicia el nivel 1.

Tabla 2. CU-01.

CU-02	
Descripción	Mostrar el funcionamiento del menú inicial y cómo se pueden comenzar tanto el modo de juego normal y el tutorial, así como abrir el menú de instrucciones.
Actores	Jugador
Flujo alternativo	- El jugador se mueve hasta el altar del tutorial. - El jugador colisiona la llave con el altar del tutorial.
Precondiciones	- El jugador dispone de las gafas de realidad virtual conectadas. - El jugador dispone del objeto físico asociado a la llave. - La aplicación se encuentra iniciada. - El jugador se encuentra en el menú inicial.
Postcondiciones	Se inicia el tutorial.

Tabla 3. CU-02.

CU-03	
Descripción	Mostrar el funcionamiento del menú inicial y cómo se pueden comenzar tanto el modo de juego normal y el tutorial, así como abrir el menú de instrucciones.
Actores	Jugador
Flujo alternativo	- El jugador se mueve hasta el altar del menú de instrucciones. - El jugador colisiona la llave con el altar del menú de instrucciones.
Precondiciones	- El jugador dispone de las gafas de realidad virtual conectadas. - El jugador dispone del objeto físico asociado a la llave. - La aplicación se encuentra iniciada. - El jugador se encuentra en el menú inicial.
Postcondiciones	Se muestra el panel de instrucciones.

Tabla 4. CU-03.

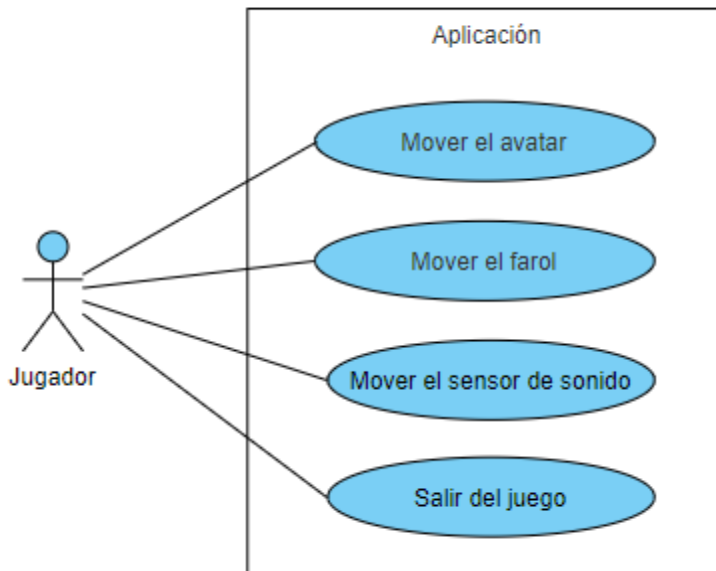


Figura 20. CU-04, CU-05, CU-06.

CU-04	
Descripción	Mostrar cómo se lleva a cabo el desarrollo del nivel 1, describiendo los diferentes caminos que pueden surgir a lo largo de este.
Actores	Jugador
Flujo predeterminado	1. El jugador se mueve por el escenario. 2. El jugador mueve el farol para iluminar el camino. 3. El jugador utiliza el sensor de sonido para localizar la meta. 4. El jugador entra en la meta.
Precondiciones	• El jugador dispone de las gafas de realidad virtual conectadas. • El jugador dispone del objeto físico asociado al farol. • El jugador dispone del objeto físico asociado al sensor de sonido. • La aplicación se encuentra iniciada. • El jugador se encuentra en el nivel 1.
Postcondiciones	• Se inicia el nivel 2.

Tabla 5. CU-04.

CU-05	
Descripción	Mostrar cómo se lleva a cabo el desarrollo del nivel 1, describiendo los diferentes caminos que pueden surgir a lo largo de este.

Actores	Jugador
Flujo alternativo	1. El jugador se mueve por el escenario. 2. La lava alcanza al jugador.
Precondiciones	• El jugador dispone de las gafas de realidad virtual conectadas. • El jugador dispone del objeto físico asociado al farol. • El jugador dispone del objeto físico asociado al sensor de sonido. • La aplicación se encuentra iniciada. • El jugador se encuentra en el nivel 1.
Postcondiciones	• Se reinicia el nivel 1.

Tabla 6. CU-05.

CU-06	
Descripción	Mostrar cómo se lleva a cabo el desarrollo del nivel 1, describiendo los diferentes caminos que pueden surgir a lo largo de este.
Actores	Jugador
Flujo alternativo	1. El jugador se mueve por el escenario. 2. La barra de equilibrio del jugador se reduce a 0.
Precondiciones	• El jugador dispone de las gafas de realidad virtual conectadas. • El jugador dispone del objeto físico asociado al farol. • El jugador dispone del objeto físico asociado al sensor de sonido. • La aplicación se encuentra iniciada. • El jugador se encuentra en el nivel 1.
Postcondiciones	• Se reinicia el nivel 1.

Tabla 7. CU-06.

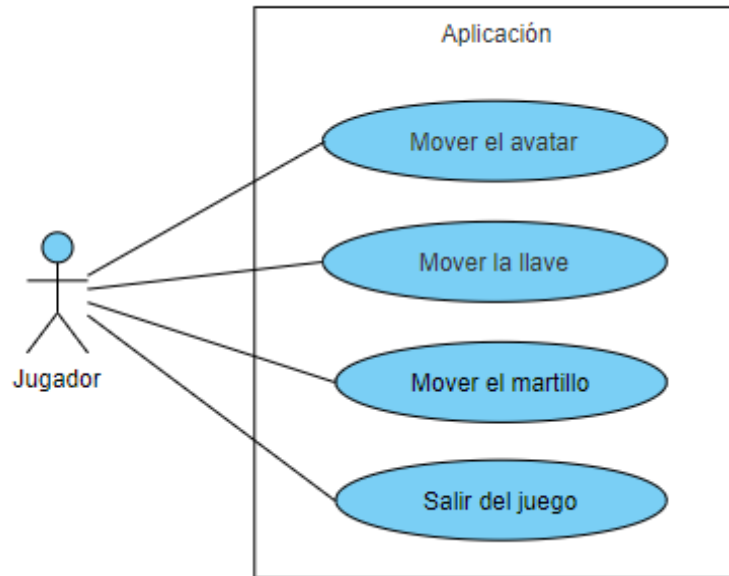


Figura 21. CU-07, CU-08, CU-09.

CU-07	
Descripción	Mostrar cómo se lleva a cabo el desarrollo del nivel 2, describiendo los diferentes caminos que pueden surgir a lo largo de este.
Actores	Jugador
Flujo predeterminado	1. El jugador se mueve por el escenario. 2. El jugador utiliza el martillo para reparar el camino. 3. El jugador colisiona la llave con el altar para desbloquear la puerta. 4. El jugador entra en la meta.
Precondiciones	• El jugador dispone de las gafas de realidad virtual conectadas. • El jugador dispone del objeto físico asociado al martillo. • El jugador dispone del objeto físico asociado a la llave. • La aplicación se encuentra iniciada. • El jugador se encuentra en el nivel 2.
Postcondiciones	• Se inicia el nivel 3.

Tabla 8. CU-07.

CU-08	
Descripción	Mostrar cómo se lleva a cabo el desarrollo del nivel 2, describiendo los diferentes caminos que pueden surgir a lo largo de este.

Actores	Jugador
Flujo alternativo	1. El jugador se mueve por el escenario. 2. La lava alcanza al jugador.
Precondiciones	• El jugador dispone de las gafas de realidad virtual conectadas. • El jugador dispone del objeto físico asociado al martillo. • El jugador dispone del objeto físico asociado a la llave. • La aplicación se encuentra iniciada. • El jugador se encuentra en el nivel 2.
Postcondiciones	• Se reinicia el nivel 2.

Tabla 9. CU-08.

CU-09	
Descripción	Mostrar cómo se lleva a cabo el desarrollo del nivel 2, describiendo los diferentes caminos que pueden surgir a lo largo de este.
Actores	Jugador
Flujo alternativo	1. El jugador se mueve por el escenario. 2. La barra de equilibrio del jugador se reduce a 0.
Precondiciones	• El jugador dispone de las gafas de realidad virtual conectadas. • El jugador dispone del objeto físico asociado al martillo. • El jugador dispone del objeto físico asociado a la llave. • La aplicación se encuentra iniciada. • El jugador se encuentra en el nivel 2.
Postcondiciones	• Se reinicia el nivel 2.

Tabla 10. CU-09.

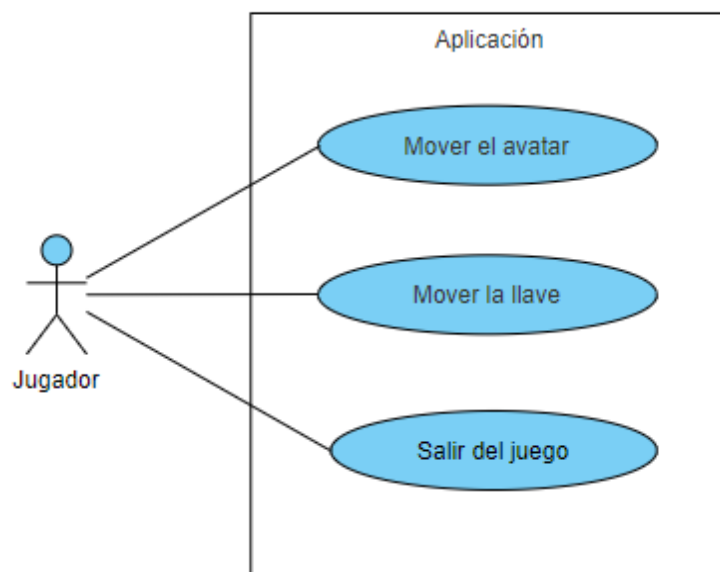


Figura 22. CU-10, CU-11, CU-12.

CU-10	
Descripción	Mostrar cómo se lleva a cabo el desarrollo del nivel 2, describiendo los diferentes caminos que pueden surgir a lo largo de este.
Actores	Jugador
Flujo predeterminado	1. El jugador se mueve por el escenario. 2. El jugador colisiona la llave con el altar del puente. 3. El jugador colisiona la llave con el altar de la puerta. 4. El jugador entra en la meta.
Precondiciones	• El jugador dispone de las gafas de realidad virtual conectadas. • El jugador dispone del objeto físico asociado a la llave. • La aplicación se encuentra iniciada. • El jugador se encuentra en el nivel 3.
Postcondiciones	• Se inicia el menú del juego.

Tabla 11. CU-10.

CU-11	
Descripción	Mostrar cómo se lleva a cabo el desarrollo del nivel 3, describiendo los diferentes caminos que pueden surgir a lo largo de este.
Actores	Jugador

Flujo alternativo	1. El jugador se mueve por el escenario. 2. La lava alcanza al jugador.
Precondiciones	• El jugador dispone de las gafas de realidad virtual conectadas. • El jugador dispone del objeto físico asociado a la llave. • La aplicación se encuentra iniciada. • El jugador se encuentra en el nivel 3.
Postcondiciones	• Se reinicia el nivel 3.

Tabla 12. CU-11.

CU-12	
Descripción	Mostrar cómo se lleva a cabo el desarrollo del nivel 3, describiendo los diferentes caminos que pueden surgir a lo largo de este.
Actores	Jugador
Flujo alternativo	1. El jugador se mueve por el escenario. 2. La barra de equilibrio del jugador se reduce a 0.
Precondiciones	• El jugador dispone de las gafas de realidad virtual conectadas. • El jugador dispone del objeto físico asociado a la llave. • La aplicación se encuentra iniciada. • El jugador se encuentra en el nivel 3.
Postcondiciones	• Se reinicia el nivel 3.

Tabla 13. CU-12.

3.3 Requisitos de usuario

A continuación, se detallarán los requisitos necesarios para que la aplicación cumpla y satisfaga las necesidades del jugador. Estos requisitos se dividen en dos grupos diferentes; por un lado, los requisitos de capacidad, los cuales determinan las funciones que ha de tener la aplicación y, por otro lado, los requisitos de restricción, que establecen las restricciones que limitan la aplicación desarrollada.

La tabla 14 muestra la plantilla que se utilizará a la hora de definir los requisitos de usuarios.

Identificador del requisito de usuario			
Descripción			
Relación	• Precedente • Dependiente	Necesidad	• Esencial • Opcional

Verificabilidad	• Sí • No	Prioridad	• Alta • Media • Baja
------------------------	--	------------------	---

Tabla 14. Plantilla de los requisitos de usuario.

- **Identificador del requisito de usuario:** código que identifica unívocamente cada requisito de usuario. Este identificador sigue la siguiente estructura:

RU-<tipo de requisito de usuario>-<número identificador del requisito>

Donde <tipo de requisito de usuario> puede tomar los valores:

- **C:** en caso de ser un requisito de usuario de capacidad.
- **R:** en caso de ser un requisito de usuario de restricción.
- **Descripción:** breve descripción del requisito de usuario.
- **Relación:** en caso de ser un requisito que depende de otro requisito definido con anterioridad, se detallará el identificador de este último.
- **Necesidad:** determina el grado de obligatoriedad; en caso de ser un requisito esencial, se deberá desarrollar de forma obligatoria y, en caso de ser opcional, es posible no incorporarlo.
- **Verificabilidad:** indica si es posible verificar que el requisito ha sido incorporado en la aplicación.
- **Prioridad:** en caso de tratarse de un requisito dependiente, indica el grado de urgencia con el que debe incorporarse dicho requisito. No aplica para los requisitos precedentes.

3.3.1 Requisitos de usuario de capacidad

RU-C-01			
Descripción	El jugador deberá disponer del casco de realidad virtual y de los dos objetos reales asociados a las herramientas antes de iniciar la aplicación.		
Relación	Precedente	Necesidad	Esencial
Verificabilidad	Sí	Prioridad	No aplica

Tabla 15. RU-C-01.

RU-C-02			
Descripción	El jugador podrá interactuar con los altares utilizando la llave.		
Relación	Dependiente: • RU-C-01	Necesidad	Esencial

Verificabilidad	Sí	Prioridad	No aplica
------------------------	----	------------------	-----------

Tabla 16. RU-C-02.

RU-C-03			
Descripción	El jugador podrá acceder a un panel de instrucciones desde el menú principal colisionando la llave contra el altar correspondiente.		
Relación	Dependiente: • RU-C-02	Necesidad	Esencial
Verificabilidad	Sí	Prioridad	No aplica

Tabla 17. RU-C-03.

RU-C-04			
Descripción	El jugador podrá acceder al modo de juego y al tutorial desde el menú principal colisionando la llave contra el altar correspondiente.		
Relación	Dependiente: • RU-C-02	Necesidad	Esencial
Verificabilidad	Sí	Prioridad	No aplica

Tabla 18. RU-C-04.

RU-C-05			
Descripción	El jugador podrá abandonar el juego en cualquier momento.		
Relación	Precedente	Necesidad	Esencial
Verificabilidad	Sí	Prioridad	No aplica

Tabla 19. RU-C-05.

RU-C-06			
Descripción	El jugador podrá interactuar con los pilares agrietados utilizando el martillo.		
Relación	Dependiente: • RU-C-01	Necesidad	Esencial

Verificabilidad	Sí	Prioridad	No aplica
------------------------	----	------------------	-----------

Tabla 20. RU-C-06.

RU-C-07			
Descripción	Los pilares agrietados serán reparados tras colisionar el martillo contra ellos 3 veces.		
Relación	Dependiente: • RU-C-06	Necesidad	Esencial
Verificabilidad	Sí	Prioridad	No aplica

Tabla 21. RU-C-07.

RU-C-08			
Descripción	El jugador destruirá los pilares agrietados al caminar sobre ellos si no han sido reparados utilizando el martillo.		
Relación	Dependiente: • RU-C-01	Necesidad	Esencial
Verificabilidad	Sí	Prioridad	No aplica

Tabla 22. RU-C-08.

RU-C-09			
Descripción	El jugador podrá iluminar sus alrededores utilizando el farol.		
Relación	Dependiente: • RU-C-01	Necesidad	Esencial
Verificabilidad	Sí	Prioridad	No aplica

Tabla 23. RU-C-09.

RU-C-10			
Descripción	El jugador podrá detectar la meta utilizando el sensor de sonido.		
Relación	Dependiente: • RU-C-01	Necesidad	Opcional
Verificabilidad	No	Prioridad	Media

Tabla 24. RU-C-10.

RU-C-11			
Descripción	Los controles del juego deberán evocar a las acciones del mundo real.		
Relación	Precedente	Necesidad	Esencial
Verificabilidad	Sí	Prioridad	No aplica

Tabla 25. RU-C-11.

RU-C-12			
Descripción	El movimiento del avatar seguirá la misma dirección y orientación que el jugador.		
Relación	Dependiente: • RU-C-01	Necesidad	Esencial
Verificabilidad	Sí	Prioridad	No aplica

Tabla 26. RU-C-12.

RU-C-13			
Descripción	Las herramientas seguirán el mismo movimiento y orientación que los objetos físicos asociados a ellas.		
Relación	Dependiente: • RU-C-01	Necesidad	Esencial
Verificabilidad	Sí	Prioridad	No aplica

Tabla 27. RU-C-13.

RU-C-14			
Descripción	El jugador podrá progresar al siguiente nivel del modo de juego entrando en la meta, en caso de no encontrarse en el nivel 3.		
Relación	Dependiente: • RU-C-04	Necesidad	Esencial
Verificabilidad	Sí	Prioridad	No aplica

Tabla 28. RU-C-14.

RU-C-15			
---------	--	--	--

Descripción	El jugador podrá acceder al menú inicial entrando en la meta, en caso de encontrarse en el nivel 3.		
Relación	Dependiente: • RU-C-04	Necesidad	Esencial
Verificabilidad	Sí	Prioridad	No aplica

Tabla 29. RU-C-15.

RU-C-16			
Descripción	Los puentes y las puertas deberán desbloquearse cuando el jugador colisione la llave con el altar asociado a cada uno de estos.		
Relación	Dependiente: • RU-C-04	Necesidad	Esencial
Verificabilidad	Sí	Prioridad	No aplica

Tabla 30. RU-C-16.

RU-C-17			
Descripción	El jugador perderá puntos de equilibrio al caminar fuera de los pilares.		
Relación	Dependiente: • RU-C-04	Necesidad	Opcional
Verificabilidad	Sí	Prioridad	Alta

Tabla 31. RU-C-17.

RU-C-18			
Descripción	El nivel se reiniciará en caso de que el jugador pierda todos los puntos de equilibrio.		
Relación	Dependiente: • RU-C-17	Necesidad	Esencial
Verificabilidad	Sí	Prioridad	No aplica

Tabla 32. RU-C-18.

RU-C-19	
Descripción	El nivel se reiniciará en caso de que el jugador sea alcanzado por el suelo de lava.

Relación	Dependiente: • RU-C-04	Necesidad	Esencial
Verificabilidad	Sí	Prioridad	No aplica

Tabla 33. RU-C-19.

RU-C-20			
Descripción	El jugador podrá acceder a un tutorial para entender cómo completar los niveles y aprender a utilizar las distintas herramientas.		
Relación	Dependiente: • RU-C-01	Necesidad	Esencial
Verificabilidad	Sí	Prioridad	No aplica

Tabla 34. RU-C-20.

RU-C-21			
Descripción	El jugador podrá observar cómo un fantasma resuelve el nivel del tutorial evocando las acciones de un jugador.		
Relación	Dependiente: • RU-C-04	Necesidad	Opcional
Verificabilidad	Sí	Prioridad	Alta

Tabla 35. RU-C-21.

RU-C-22			
Descripción	Cuando un nivel sea reiniciado, el jugador podrá ver un fantasma que imite las acciones llevadas a cabo por este en la partida anterior.		
Relación	Dependiente: • RU-C-18 • RU-C-19	Necesidad	Opcional
Verificabilidad	Sí	Prioridad	Media

Tabla 36. RU-C-22.

RU-C-23			
Descripción	El jugador será capaz de moverse por todo el escenario utilizando los puentes y pilares sin que sus puntos de equilibrio se vean afectados.		
Relación	Dependiente: • RU-C-04	Necesidad	Esencial

Verificabilidad	Sí	Prioridad	No aplica
------------------------	----	------------------	-----------

Tabla 37. RU-C-23.

3.3.2 Requisitos de usuario de restricción

RU-R-01			
Descripción	Todos los textos de la aplicación se mostrarán en español.		
Relación	Dependiente: • RU-C-01	Necesidad	Esencial
Verificabilidad	Sí	Prioridad	No aplica

Tabla 38. RU-R-01.

RU-R-02			
Descripción	El escenario de los niveles debe estar limitado por el suelo físico por el que puede moverse el jugador.		
Relación	Dependiente: • RU-C-01	Necesidad	Esencial
Verificabilidad	Sí	Prioridad	No aplica

Tabla 39. RU-R-02.

RU-R-03			
Descripción	La aplicación debe ser capaz de detectar si el jugador se acerca al borde del suelo físico para mostrar una pared dentro del escenario virtual.		
Relación	Dependiente: • RU-C-01	Necesidad	Esencial
Verificabilidad	Sí	Prioridad	No aplica

Tabla 40. RU-R-03.

RU-R-04			
Descripción	Todos los elementos virtuales (altares, pilares, meta, etc.) de la aplicación deben estar al alcance del jugador.		
Relación	Dependiente: • RU-C-01	Necesidad	Esencial

Verificabilidad	Sí	Prioridad	No aplica
------------------------	----	------------------	-----------

Tabla 41. RU-R-04.

RU-R-05			
Descripción	La aplicación no debe permitir que el nivel actual siga ejecutándose cuando el equilibrio del jugador sea igual a 0.		
Relación	Dependiente: • RU-C-18	Necesidad	Esencial
Verificabilidad	Sí	Prioridad	No aplica

Tabla 42. RU-R-05.

RU-R-06			
Descripción	La aplicación no debe permitir que el nivel actual siga ejecutándose cuando el suelo de lava haya alcanzado al jugador.		
Relación	Dependiente: • RU-C-19	Necesidad	Esencial
Verificabilidad	Sí	Prioridad	No aplica

Tabla 43. RU-R-06.

RU-R-07			
Descripción	La aplicación no requerirá que el jugador interactúe físicamente con el casco de realidad virtual una vez iniciada la aplicación.		
Relación	Dependiente: • RU-C-01	Necesidad	Esencial
Verificabilidad	Sí	Prioridad	No aplica

Tabla 44. RU-R-07.

RU-R-08			
Descripción	La barra de equilibrio no deberá quitar visibilidad al jugador.		
Relación	Dependiente: • RU-C-01	Necesidad	Opcional
Verificabilidad	Sí	Prioridad	Alta

Tabla 45. RU-R-08.

RU-R-09			
Descripción	La aplicación no requerirá que el jugador cambie los objetos físicos asociados a herramientas cuando se avance de nivel.		
Relación	Dependiente: RU-C-04	Necesidad	Opcional
Verificabilidad	Sí	Prioridad	Alta

Tabla 46. RU-R-09.

RU-R-10			
Descripción	La aplicación no mostrará al fantasma del jugador si el nivel no ha sido reiniciado.		
Relación	Dependiente: RU-C-04	Necesidad	Esencial
Verificabilidad	Sí	Prioridad	No aplica

Tabla 47. RU-R-10.

RU-R-11			
Descripción	La aplicación no debe permitir que otros sensores diferentes a los asociados a los objetos físicos sean enlazados a los objetos virtuales mientras la aplicación esté siendo ejecutada.		
Relación	Dependiente: RU-C-01	Necesidad	Esencial
Verificabilidad	Sí	Prioridad	No aplica

Tabla 48. RU-R-11.

RU-R-12			
Descripción	La aplicación deberá proporcionar una ayuda visual asociada al sensor de sonido.		
Relación	Dependiente: RU-C-10	Necesidad	Opcional
Verificabilidad	Sí	Prioridad	Baja

Tabla 49. RU-R-12.

RU-R-13			
---------	--	--	--

Descripción	La iluminación proporcionada por el farol será lo suficientemente potente como para permitir al jugador ver su entorno cercano.		
Relación	Dependiente: • RU-C-09	Necesidad	Esencial
Verificabilidad	Sí	Prioridad	No aplica

Tabla 50. RU-R-13.

3.4 Requisitos de software

Una vez planteado el funcionamiento de la aplicación mediante los requisitos de usuarios, se pasará a refinar dicho planteamiento haciendo uso de los requisitos de software. Se utilizarán los requisitos de software funcionales para definir qué puede hacer el sistema y los no funcionales para expresar cómo lo hace.

3.4.1 Funcionales

A la hora de plantear los requisitos de software funcionales se utilizará la misma plantilla utilizada en el apartado 3.2, con una ligera variación en el identificador del requisito:

- **Identificador del requisito de software funcional:** código que identifica unívocamente cada requisito. Este identificador sigue la siguiente estructura:

RS-F-<número identificador del requisito>

RS-F-01			
Descripción	El sistema permitirá al jugador interactuar con los altares haciendo uso de la llave.		
Relación	Dependiente: • RU-C-02	Necesidad	Esencial
Verificabilidad	Sí	Prioridad	No aplica

Tabla 51. RS-F-01.

RS-F-02			
Descripción	El sistema permitirá al jugador acceder al modo de juego, al tutorial y mostrar el panel de instrucciones desde el menú principal.		
Relación	Dependiente: • RU-C-03 • RU-C-04	Necesidad	Esencial
Verificabilidad	Sí	Prioridad	No aplica

Tabla 52. RS-F-02.

RS-F-03			
Descripción	El sistema desplegará el panel de instrucciones frente al jugador cuando este último colisione la llave contra el altar asociado al panel de instrucciones.		
Relación	Dependiente: • RU-C-03	Necesidad	Esencial
Verificabilidad	Sí	Prioridad	No aplica

Tabla 53. RS-F-03.

RS-F-04			
Descripción	El sistema permitirá al jugador acceder al modo de juego o al tutorial cuando el este último colisione la llave con el altar correspondiente asociado a cada uno.		
Relación	Dependiente: • RU-C-04	Necesidad	Esencial
Verificabilidad	Sí	Prioridad	No aplica

Tabla 54. RS-F-04.

RS-F-05			
Descripción	El sistema proporcionará medios al jugador para abandonar el juego en cualquier momento.		
Relación	Dependiente: • RU-C-05	Necesidad	Esencial
Verificabilidad	Sí	Prioridad	No aplica

Tabla 55. RS-F-05.

RS-F-06			
Descripción	El sistema permitirá al jugador interactuar con los pilares agrietados colisionando el martillo contra estos.		
Relación	Dependiente: • RU-C-06	Necesidad	Esencial
Verificabilidad	Sí	Prioridad	No aplica

Tabla 56. RS-F-06.

RS-F-07			
---------	--	--	--

Descripción	El sistema permitirá al jugador reparar los pilares agrietados colisionando el martillo 3 veces contra estos.		
Relación	Dependiente: • RU-C-07	Necesidad	Esencial
Verificabilidad	Sí	Prioridad	No aplica

Tabla 57. RS-F-07.

RS-F-08			
Descripción	Una vez sea reparado un pilar agrietado, el sistema deberá sustituir dicho pilar por uno normal.		
Relación	Dependiente: • RU-C-07	Necesidad	Esencial
Verificabilidad	Sí	Prioridad	No aplica

Tabla 58. RS-F-08.

RS-F-09			
Descripción	El sistema deberá destruir los pilares agrietados cuando el jugador camine sobre estos.		
Relación	Dependiente: • RU-C-08	Necesidad	Esencial
Verificabilidad	Sí	Prioridad	No aplica

Tabla 59. RS-F-09.

RS-F-10			
Descripción	El sistema permitirá que el jugador ilumine sus alrededores inmediatos utilizando el farol.		
Relación	Dependiente: • RU-C-09 • RU-R-13	Necesidad	Esencial
Verificabilidad	Sí	Prioridad	No aplica

Tabla 60. RS-F-10.

RS-F-11	
Descripción	El sistema deberá variar la frecuencia con la que el sensor de sonido emite señales auditivas utilizando como referencia la distancia a la que se encuentra el jugador de la meta.

Relación	Dependiente: • RU-C-10	Necesidad	Opcional
Verificabilidad	Sí	Prioridad	Media

Tabla 61. RS-F-11.

RS-F-12			
Descripción	El sistema deberá permitir que el jugador progrese al siguiente nivel, en caso de no encontrarse en el nivel 3.		
Relación	Dependiente: • RU-C-14	Necesidad	Esencial
Verificabilidad	Sí	Prioridad	No aplica

Tabla 62. RS-F-12.

RS-F-13			
Descripción	El sistema deberá hacer que el jugador acceda al menú principal una vez complete el nivel 3.		
Relación	Dependiente: • RU-C-15	Necesidad	Esencial
Verificabilidad	Sí	Prioridad	No aplica

Tabla 63. RS-F-13.

RS-F-14			
Descripción	El sistema deberá desplegar los puentes cuando el jugador colisione la llave con el altar asociado a cada puente.		
Relación	Dependiente: • RU-C-16	Necesidad	Esencial
Verificabilidad	Sí	Prioridad	No aplica

Tabla 64. RS-F-14.

RS-F-15			
Descripción	El sistema deberá desbloquear las puertas cuando el jugador colisione la llave con el altar asociado a cada puerta.		
Relación	Dependiente: • RU-C-16	Necesidad	Esencial

Verificabilidad	Sí	Prioridad	No aplica
------------------------	----	------------------	-----------

Tabla 65. RS-F-15.

RS-F-16			
Descripción	El sistema reiniciará el nivel actual en caso de que el jugador sea alcanzado por el suelo de lava.		
Relación	Dependiente: • RU-C-19	Necesidad	Esencial
Verificabilidad	Sí	Prioridad	No aplica

Tabla 66. RS-F-16.

RS-F-17			
Descripción	El sistema reducirá de forma continua los puntos de equilibrio del jugador cuando este último no se encuentre encima de un pilar o un puente.		
Relación	Dependiente: • RU-C-17	Necesidad	Opcional
Verificabilidad	Sí	Prioridad	Media

Tabla 67. RS-F-17.

RS-F-18			
Descripción	El sistema reiniciará el nivel actual cuando los puntos de equilibrio del jugador lleguen a 0.		
Relación	Dependiente: • RU-C-18	Necesidad	Opcional
Verificabilidad	Sí	Prioridad	Media

Tabla 68. RS-F-18.

RS-F-19			
Descripción	El sistema mostrará a un fantasma realizando las mismas acciones llevadas a cabo por el jugador en la partida anterior únicamente cuando un nivel actual sea reiniciado.		
Relación	Dependiente: • RU-C-22 • RU-R-10	Necesidad	Opcional
Verificabilidad	Sí	Prioridad	Media

Tabla 69. RS-F-19.

RS-F-20			
Descripción	El sistema permitirá, en el modo de juego, que el jugador pueda desplazarse por todo el escenario del nivel utilizando los pilares y los puentes.		
Relación	Dependiente: • RU-C-23	Necesidad	Esencial
Verificabilidad	Sí	Prioridad	No aplica

Tabla 70. RS-F-20.

RS-F-21			
Descripción	El sistema deberá limitar el espacio virtual por el que puede desplazarse el jugador utilizando el espacio real disponible.		
Relación	Dependiente: • RU-R-02	Necesidad	Esencial
Verificabilidad	Sí	Prioridad	No aplica

Tabla 71. RS-F-21.

RS-F-22			
Descripción	El sistema permitirá que todos los elementos virtuales (altares, pilares, meta, etc.) del escenario actual estén al alcance del jugador.		
Relación	Dependiente: • RU-R-04	Necesidad	Esencial
Verificabilidad	Sí	Prioridad	No aplica

Tabla 72. RS-F-22.

3.4.2 No funcionales

De la misma forma que en el apartado anterior, para definir los requisitos de software no funcionales se utilizará la misma plantilla utilizada en el apartado 3.2, pero con una ligera variación en el identificador del requisito.

- **Identificador del requisito de software no funcional:** código que identifica unívocamente cada requisito. Este identificador sigue la siguiente estructura:

RS-NF-<tipo de requisito no funcional><número identificador del requisito>

Donde <tipo de requisito no funcional> puede tomar los valores:

- **REN:** rendimiento. Indican la velocidad, el tiempo de respuesta, etc.
- **INFAZ:** interfaz. Expresan cómo debe ser la comunicación con los usuarios.

- **RES:** restricciones. Indican el lenguaje, las plataformas para la que estará disponible, etc.
- **SEG:** seguridad. Definen cómo debe ser la seguridad del sistema y de los propios jugadores.
- **OPE:** operacionales. Indican las posibles operaciones que ofrecerá el sistema.
- **ACC:** accesibilidad. Indican los recursos que podrán ser utilizados por todo tipo de jugadores.
- **USA:** usabilidad. Define la dificultad de utilización del sistema.

El número identificador se reiniciará para cada tipo de requisito no funcional.

RS-NF-REN-01			
Descripción	La aplicación recibirá y mostrará la posición y la orientación del jugador y de los objetos físicos en tiempo real.		
Relación	Dependiente: • RU-C-12 • RU-C-13	Necesidad	Esencial
Verificabilidad	Sí	Prioridad	No aplica

Tabla 73. RS-NF-REN-01.

RS-NF-INFAZ-01			
Descripción	La interfaz gráfica de la barra de equilibrio deberá tener el menor tamaño posible sin perder la legibilidad.		
Relación	Dependiente: • RU-R-08	Necesidad	Opcional
Verificabilidad	Sí	Prioridad	Alta

Tabla 74. RS-NF-INFAZ-01.

RS-NF-INFAZ-02			
Descripción	La interfaz gráfica de la barra de equilibrio deberá colocarse en el centro del extremo superior de la cámara del jugador.		
Relación	Dependiente: • RU-R-08	Necesidad	Opcional
Verificabilidad	Sí	Prioridad	Media

Tabla 75. RS-NF-INFAZ-02.

RS-NF-INFAZ-03			
Descripción	Cada altar del menú principal deberá tener asociado un panel de texto que indique su funcionalidad.		
Relación	Dependiente: • RU-C-03 • RU-C-04	Necesidad	Esencial
Verificabilidad	Sí	Prioridad	No aplica

Tabla 76. RS-NF-INFAZ-03.

RS-NF-RES-01			
Descripción	El lenguaje utilizado por la aplicación será el español.		
Relación	Dependiente: • RU-R-01	Necesidad	Esencial
Verificabilidad	Sí	Prioridad	No aplica

Tabla 77. RS-NF-RES-01.

RS-NF-RES-02			
Descripción	El suelo de lava tardará 1 minuto y 40 segundos en alcanzar al jugador.		
Relación	Dependiente: • RU-C-19	Necesidad	Esencial
Verificabilidad	Sí	Prioridad	No aplica

Tabla 78. RS-NF-RES-02.

RS-NF-RES-03			
Descripción	Los puntos de equilibrio decrementarán en 1.25 por cada segundo que el jugador no se encuentre sobre un pilar o un puente.		
Relación	Dependiente: • RU-C-17	Necesidad	Opcional
Verificabilidad	Sí	Prioridad	Media

Tabla 79. RS-NF-RES-03.

RS-NF-RES-04			
--------------	--	--	--

Descripción	El sistema no permitirá que sensores diferentes a los ya asociados a los objetos virtuales y al casco sean enlazados una vez iniciada la aplicación.		
Relación	Dependiente: • RU-R-11	Necesidad	Esencial
Verificabilidad	Sí	Prioridad	No aplica

Tabla 80. RS-NF-RES-04.

RS-NF-RES-05			
Descripción	El sistema no deberá permitir que el nivel actual siga ejecutándose cuando los puntos de equilibrio sean iguales a 0.		
Relación	Dependiente: • RU-R-05	Necesidad	Esencial
Verificabilidad	Sí	Prioridad	No aplica

Tabla 81. RS-NF-RES-05.

RS-NF-RES-06			
Descripción	El sistema no deberá permitir que el nivel actual siga ejecutándose cuando el suelo de lava haya alcanzado al jugador.		
Relación	Dependiente: • RU-R-06	Necesidad	Esencial
Verificabilidad	Sí	Prioridad	No aplica

Tabla 82. RS-NF-RES-06.

RS-NF-RES-07			
Descripción	El sistema no podrá ser iniciado si el jugador no dispone del casco de realidad virtual y de los dos objetos físicos asociados a las herramientas virtuales.		
Relación	Dependiente: • RU-C-01	Necesidad	Esencial
Verificabilidad	Sí	Prioridad	No aplica

Tabla 83. RS-NF-RES-07.

RS-NF-SEG-01	
Descripción	El sistema deberá mostrar una pared semitransparente en el escenario virtual cada vez que el jugador se acerque al límite de la zona de juego física.

Relación	Dependiente: • RU-R-03	Necesidad	Esencial
Verificabilidad	Sí	Prioridad	No aplica

Tabla 84. RS-NF-SEG-01.

RS-NF-OPE-01			
Descripción	El sistema permitirá al jugador seleccionar el modo de juego, el tutorial o el panel de instrucciones desde el menú principal.		
Relación	Dependiente: • RU-C-03 • RU-C-04	Necesidad	Esencial
Verificabilidad	Sí	Prioridad	No aplica

Tabla 85. RS-NF-OPE-01.

RS-NF-ACC-01			
Descripción	El sensor de sonido ofrecerá una ayuda visual dirigida a las personas con discapacidad auditiva. Esta ayuda visual será proporcional al efecto de sonido producido al acercarse o alejarse de la meta.		
Relación	Precedente	Necesidad	Opcional
Verificabilidad	Dependiente: • RU-R-12	Prioridad	Baja

Tabla 86. RS-NF-ACC-01.

RS-NF-USA-01			
Descripción	El sistema deberá permitir que los controles de la aplicación evoquen a acciones del mundo real.		
Relación	Dependiente: • RU-C-11	Necesidad	Esencial
Verificabilidad	Sí	Prioridad	No aplica

Tabla 87. RS-NF-USA-01.

RS-NF-USA-02	
Descripción	El sistema deberá ofrecer un tutorial que muestre al jugador cómo completar los niveles y cómo manejar las herramientas.

Relación	Dependiente: • RU-C-20	Necesidad	Esencial
Verificabilidad	Sí	Prioridad	No aplica

Tabla 88. RS-NF-USA-02.

RS-NF-USA-03			
Descripción	El sistema mostrará en el tutorial un fantasma que lo resolverá utilizando las mismas mecánicas de las que un jugador hará uso en cualquiera de los niveles del modo de juego.		
Relación	Dependiente: • RU-C-21	Necesidad	Opcional
Verificabilidad	Sí	Prioridad	Alta

Tabla 89. RS-NF-USA-03.

RS-NF-USA-04			
Descripción	El sistema no requerirá que el jugador interactúe físicamente con el casco de realidad virtual una vez iniciada la aplicación.		
Relación	Dependiente: • RU-R-07	Necesidad	Esencial
Verificabilidad	Sí	Prioridad	No aplica

Tabla 90. RS-NF-USA-04.

RS-NF-USA-05			
Descripción	El sistema no requerirá que el jugador reemplace los objetos físicos asociados a las herramientas una vez iniciada la aplicación.		
Relación	Dependiente: • RU-R-09	Necesidad	Opcional
Verificabilidad	Sí	Prioridad	Alta

Tabla 91. RS-NF-USA-06.

3.5 Matriz de trazabilidad

A continuación, se muestra en la tabla 92 la matriz de trazabilidad de requisitos, en las que se puede observar qué requisitos de software son cubiertos por qué requisitos de usuario. En la columna de la izquierda se muestran los identificadores de los requisitos de software y en la fila de arriba los identificadores de los requisitos de usuario.

[illegible]

Tabla 92. Matriz de trazabilidad.

4. Diseño

En este apartado, utilizando como referencia el análisis realizado previamente, se procederá a planificar y definir la solución establecida para proceder a su implementación. Se describirán las decisiones de diseño realizadas de forma que se pueda entender cómo se ha interpretado la solución, se mostrará la arquitectura del sistema y se definirán las funcionalidades y los componentes desarrollados.

4.1 Decisiones de diseño

A continuación, se expondrán las razones y motivaciones que han llevado a diseñar la aplicación de la forma en la que se ha hecho, de manera individual para cada decisión de diseño principal.

4.1.1 Apartado estético y base del videojuego

El videojuego se desarrolla en el interior de un volcán que está entrando en erupción, siendo el cometido del jugador avanzar por los niveles tratando de escapar de la lava ascendente.

Se ha decidido ubicar el videojuego en este escenario para tratar de darle una sensación de riesgo al jugador, debido que a lo largo de todos los niveles del modo de juego el suelo de lava se acerca lentamente hacia él, impulsando al jugador a llevar a cabo una toma de decisiones más rápida que le permitan encontrar la meta lo antes posible. Durante el diseño de los niveles, fue planteada la idea de mostrar en la vista del jugador una pequeña cuenta atrás que representase cuánto tiempo le quedaba antes de que la lava llegase hasta él. Esta idea fue descartada debido a que se encontró más realista que el jugador tuviese que asomarse para ver dónde se encontraba la lava, añadiéndole más presión a la partida, ya que no sería posible conocer de forma objetiva cuánto tiempo disponía para completar el nivel.

Para llevar a cabo un escenario más inmersivo, además de añadir el nivel de lava fluyendo, se rodeó el escenario con varias figuras en forma de roca que diesen la sensación de encontrarse en el interior de un volcán. También es posible escuchar durante las partidas un sonido ambiental de lava gorgoteando.

4.1.2 Reparto de los niveles y diseño general

Debido a que se iba a tratar de un videojuego de realidad mixta, en un principio iban a ser utilizadas unas gafas de realidad virtual pero no los controladores asociados a estas, ya que los niveles se completarían utilizando herramientas virtuales asociadas a sensores adheridos a objetos del mundo real. Por esta razón, se plantearon varias maneras de introducir al jugador en la aplicación; por ejemplo, ejecutando un tutorial al iniciar la aplicación y, nada más completar este, pasar inmediatamente al primer nivel del modo de juego.

No obstante, tratando de dar más libertad al jugador y a la forma en la que podría interactuar con el videojuego, se decidió crear un menú principal. Este menú se trataría de una pequeña sala que permitiría al jugador seleccionar libremente el modo que querría probar, además de añadir ciertos paneles de texto que servirían para mostrar el nombre del videojuego y un pequeño bloque de instrucciones. En este escenario, el jugador podría seleccionar entre comenzar el modo de juego o el tutorial, dependiendo de sus necesidades.

El propósito del tutorial es mostrar a los nuevos jugadores cómo utilizar las diferentes herramientas y mecánicas del juego, cómo completar los niveles, etc. Se trata de un entorno seguro que emula un nivel genérico del modo de juego, en el que es posible interactuar con los elementos del escenario sin ningún tipo de presión, ya que el jugador no pierde puntos de equilibrio y el suelo de lava no asciende.

4.1.3 Movimiento del jugador

El primer diseño que se llevó a cabo respecto al movimiento del jugador fue uno que trasladaba el movimiento sobre el suelo de sensores de forma proporcional al escenario virtual. Esto limitaba en gran medida la jugabilidad del videojuego, ya que los escenarios diseñados disponían de dimensiones mucho mayores que el suelo de sensores utilizado y su representación en Unity, que tenía alrededor de 3m².

Este motivo llevó a planificar un nuevo tipo de movimiento para el jugador más acertado teniendo en cuenta los escenarios que se habían diseñado. Se decidió optar por el scaling, descrito en el apartado 2.3.5 del estado del arte. Esta técnica de movimiento permitía al jugador moverse teniendo en cuenta la proporción entre el escenario en el que se desarrollaba la partida y el suelo de sensores. De esta manera, se estableció que la distancia recorrida por el jugador dentro del mundo virtual fuese el doble a la recorrida en el suelo de sensores, permitiéndole así recorrer todo el escenario sin llevar a cabo reducciones en sus dimensiones.

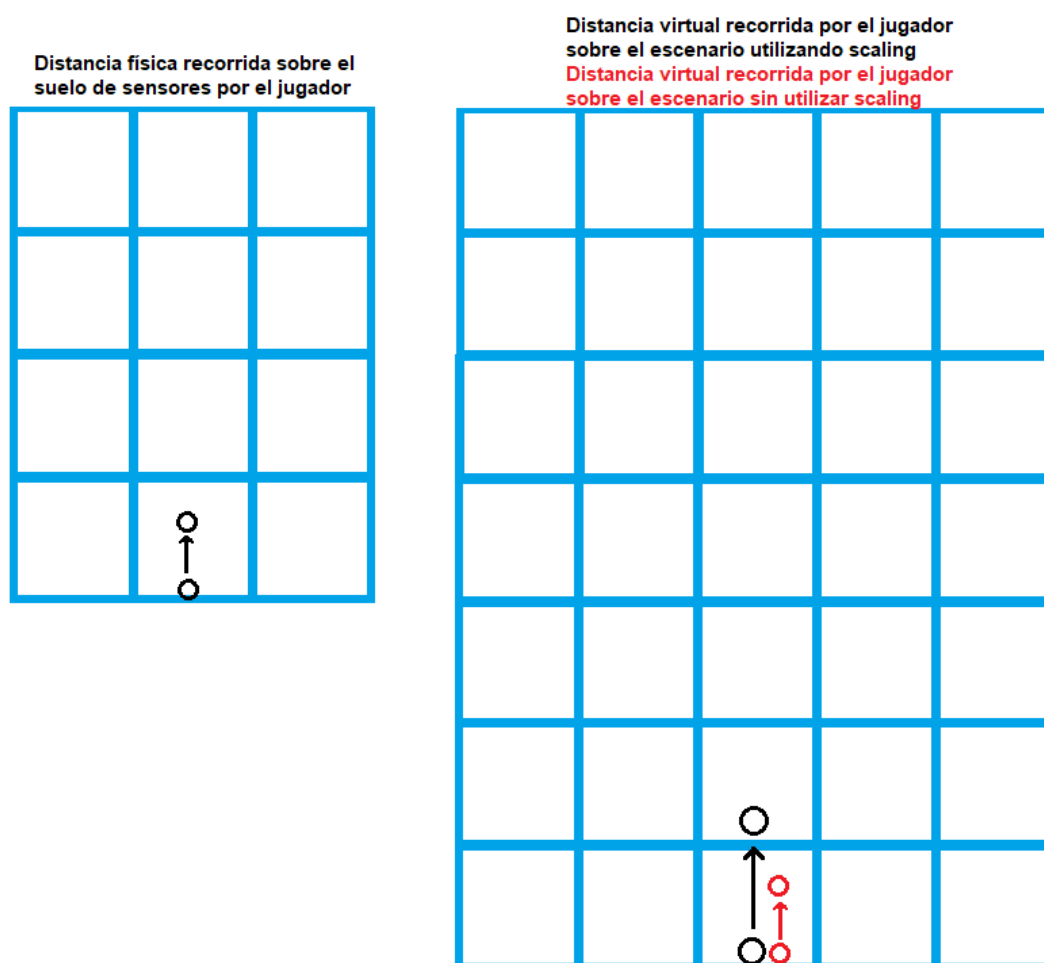


Figura 23. Técnica de movimiento en realidad virtual basada en el scaling.

4.1.4 Puntos de equilibrio

La propuesta inicial sobre cómo controlar que el jugador no se saliese de los pilares (por ejemplo, para alcanzar caminando sobre el “aire” la meta o un altar) era utilizando la propia gravedad, haciendo que la cámara del jugador comenzase a caer hacia la lava y se reiniciase el nivel. Esta propuesta fue descartada debido a que podría llegar a ser perjudicial, pudiendo provocar en los jugadores mareos e incluso caídas físicas al sentir la sensación de estar cayendo al vacío.

En su lugar, se establecieron los puntos de equilibrio: el jugador comenzaría la partida con 100 puntos de equilibrio y a medida que se saliese del camino de pilares, dicha cantidad comenzaría a decrementarse. Una vez llegados a 0, el nivel sería reiniciado. Se optó por esta solución debido a que se trataba de una forma menos agresiva de controlar el movimiento del jugador, motivándole a mantenerse siempre sobre los pilares.

4.1.5 Fantasmas

Debido a que sería interesante la incorporación de un elemento que interactuase con los datos y el escenario de la misma forma que lo haría el jugador, se crearon los fantasmas.

En primer lugar, se creó un fantasma que sería utilizado en el tutorial. El propósito de esta entidad era permitir al jugador conocer las mecánicas principales del videojuego y el uso de las herramientas mediante aprendizaje vicario. El fantasma utilizaría como referencia una partida completada por otro jugador, almacenando las diferentes posiciones y orientaciones tomadas por este a lo largo de la duración de la partida. Tras esto, cada vez que un nuevo jugador entrase al tutorial podría ver cómo el fantasma completa el nivel de la misma forma que lo haría cualquier otro jugador, posibilitando al jugador comprender de una manera más eficaz y rápida el funcionamiento de la aplicación.

En segundo lugar, se encuentra el fantasma utilizado en los diferentes niveles del modo de juego. Este fantasma es similar al anterior, con unas pequeñas variaciones. En lugar de almacenar las posiciones y orientaciones tomadas a lo largo de toda la partida de un jugador genérico, toma la información de la partida del jugador actual. Cuando un nivel es reiniciado, el fantasma aparece llevando a cabo las mismas acciones realizadas por el jugador en la partida anterior. El propósito de este segundo fantasma es ayudar al jugador a comprender en qué ha fallado y en qué partes del escenario puede mejorar su toma de decisiones. De esta manera, es posible llevar a cabo un desempeño mejor en la partida actual, ya que el jugador podrá modificar su modo de juego acorde a los errores que vaya detectando.

4.1.6 Herramientas

Para la compleción de niveles, se decidió hacer uso de ciertas herramientas. Estos elementos se tratarían de utensilios cotidianos que permitiesen al jugador identificar su funcionalidad nada más verlos. Para mantener la simplicidad, se establecieron tan sólo 4 tipos de herramientas diferentes, cada una con una única funcionalidad y se repartieron a lo largo de los 3 niveles, para no obligar al jugador a cambiar constantemente entre estas.

Por otro lado, para añadir inmersividad, se diseñaron herramientas que pudiesen ser utilizadas en la ambientación del videojuego. Entre estas se encuentran: un farol

para iluminar las zonas oscuras del volcán, un sensor de sonido que detectase la salida, un martillo para reparar zonas destruidas del camino y una llave que permitiese abrir puertas y puentes.

4.1.7 Ayudas visuales y auditivas

Para tratar de acercar el videojuego a los diferentes tipos de jugadores, se han añadido diferentes ayudas visuales y auditivas. Por un lado, debido a que la aplicación tan sólo contiene un elemento de sonido necesario para completar un nivel (el sensor de sonido), se le ha añadido un sistema de luces o partículas visuales que comienzan a aparecer y moverse con más velocidad y frecuencia cuanto más cerca se encuentre el jugador de la meta. De esta forma, jugadores con diferentes grados de discapacidad auditiva serían capaces de completar el videojuego.

Por otro lado, se encuentran las ayudas auditivas. Además de servir como elementos ambientales, sirven para orientar a diferentes tipos de jugadores dentro de una partida, principalmente brindando nuevo conocimiento que, de no ser por estos sonidos, podría ser pasado por alto. Entre estas ayudas auditivas se encuentran los golpes del martillo, para hacer saber a los jugadores que han colisionado correctamente el martillo contra los pilares agrietados, y los efectos de apertura de puentes y puertas, permitiendo a los jugadores que no tienen estos elementos en su rango de visión saber que han desbloqueado alguno de ellos. Además de las propiedades que confieren estas ayudas a la accesibilidad de los jugadores, también proporcionan un mayor grado de inmersividad.

4.2 Arquitectura

Teniendo en cuenta las decisiones de diseño descritas en el apartado 4.1 se han desarrollado los diagramas que representan el funcionamiento de la aplicación y las relaciones entre los diferentes componentes de esta. A pesar de que los diferentes escenarios con los que interactúa el jugador son independientes entre sí, para evitar redundancias, se ha simplificado la creación de los diagramas de uno solo. Esto se debe a que, como se verá a continuación, tanto el escenario del menú principal como el tutorial tan sólo sufren unas ligeras variaciones respecto a los escenarios del modo de juego. Por esta misma razón, el diagrama desarrollado representará un nivel de este modo.

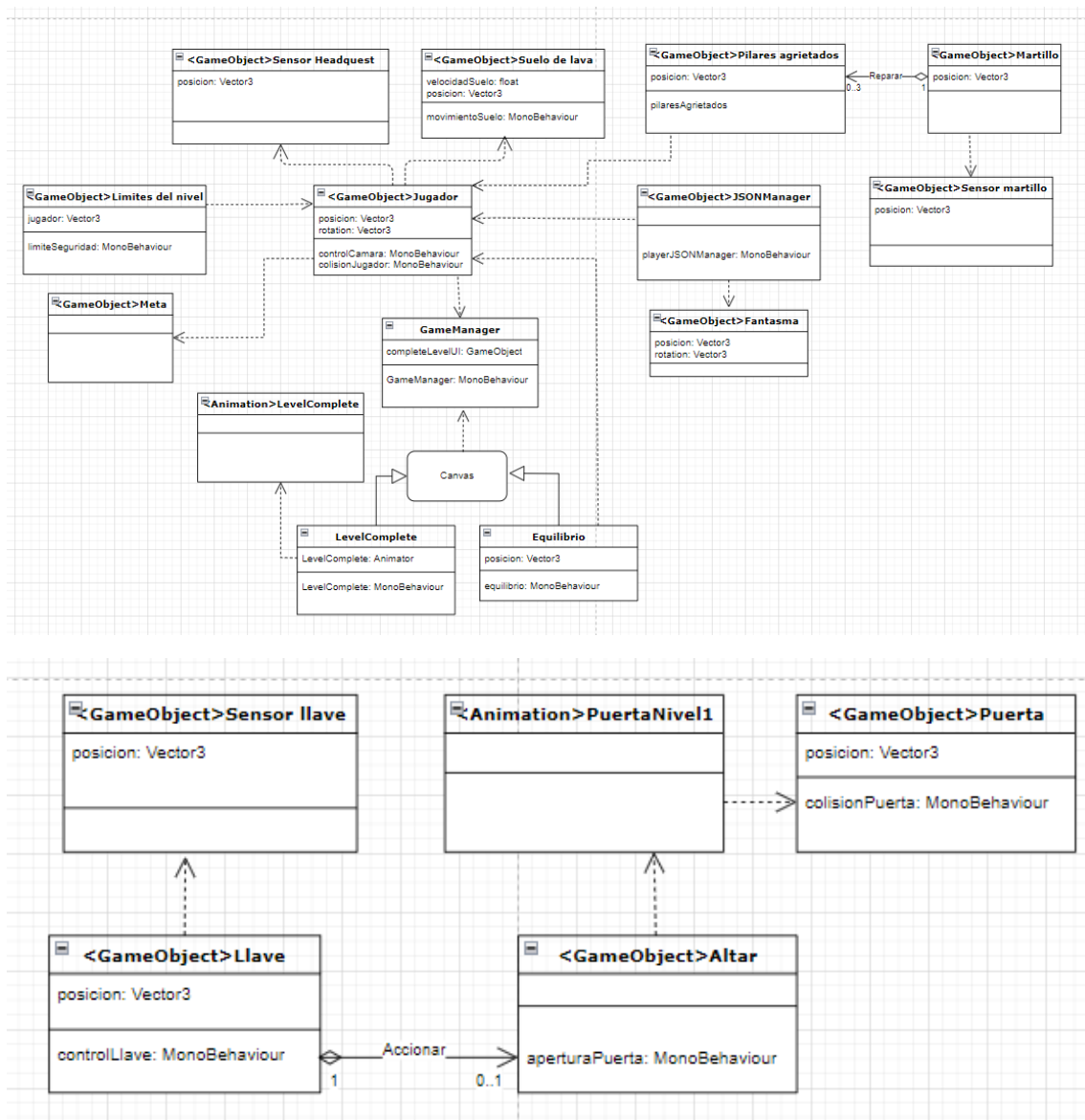


Figura 24. Arquitectura de la aplicación desarrollada.

En el primer nivel del modo de juego, el jugador hará uso de un farol y un sensor de sonido en lugar de un martillo y una llave, pero estas dos herramientas no interactúan con el resto de componentes del nivel, sino con el ambiente (como la luz), por lo que el diagrama del nivel 2 puede ser aplicado a este caso omitiendo las herramientas.

En el tercer nivel, tan sólo se hará uso de una llave y el jugador podrá interactuar además con un tipo de altar más, que desbloqueará los puentes, por lo que el diseño del diagrama vuelve a servir como referencia añadiendo el puente y el altar del puente, que son similares a la puerta y el altar de la puerta, respectivamente.

El diagrama del menú principal es aún más simple debido a que el jugador interactúa con los altares del modo de juego, el tutorial y el panel de instrucciones utilizando una llave, por lo que es similar al caso anterior.

Por último, en el tutorial el jugador no interactuará con ningún elemento debido a que es el fantasma el que completa el nivel de la misma forma que lo haría un

jugador, pudiendo utilizar el diagrama mostrado en este apartado sustituyendo al jugador por la del fantasma.

4.3 Funcionalidades desarrolladas

A continuación, se enlistarán las principales funcionalidades desarrolladas para la aplicación, ya que estas serán la que den forma al entorno y experiencia de realidad mixta:

- **Movimiento del jugador:** la aplicación captura la posición y orientación del sensor del casco de realidad virtual del jugador respecto al suelo de sensores, trasladando esa información a la posición y orientación de la cámara del jugador en el mundo virtual.
- **Movimiento de las herramientas virtuales:** de la misma forma que con el movimiento del jugador, la aplicación captura la posición y orientación de los sensores adheridos a los objetos físicos respecto al suelo de sensores, trasladando esa información a la posición y orientación de las herramientas virtuales.
- **Movimiento del suelo de lava:** cuando el jugador se encuentre en un escenario que contenga el suelo de lava, la posición en el eje Y de dicho elemento comenzará a elevarse hasta que el jugador cruce la meta o hasta que el suelo de lava alcance al jugador. El suelo de lava ignorará la colisión con todos los elementos del escenario exceptuando al propio jugador.
- **Pérdida de puntos de equilibrio:** la aplicación detectará constantemente sobre qué capa se encuentra la cámara del jugador y, en caso de encontrarse en una capa diferente a la de los pilares, los puntos de equilibrio mostrados en la interfaz comenzarán a reducirse por cada segundo que pase fuera de esta. Una vez el jugador vuelve a posicionarse sobre un pilar, la reducción de puntos de equilibrio cesará.
- **Iluminación del entorno:** en el nivel 1 del modo de juego, debido a que la iluminación del escenario es totalmente oscura, el jugador podrá ver y moverse a través del nivel utilizando un farol que produce una luz constante que ilumina sus inmediaciones.
- **Detección de la meta:** por las mismas razones que en la funcionalidad anterior, debido a que la iluminación del escenario del nivel 1 del modo de juego es totalmente oscura, el jugador podrá hacer uso de un sensor de sonido que emite una señal sonora que se reproduce con más frecuencia cuanto más cerca esté de la meta. La cercanía del jugador a la meta se calcula por 3 esferas invisibles de diferente tamaño que se encuentran en el mapa y que tienen el centro en la meta. De la misma manera, el sensor de sonido también mostrará un parpadeo de luz cuanto más cerca se esté de la meta.
- **Apertura de puertas y puentes:** cuando el jugador colisiona la llave contra un altar asociado a una puerta o un puente, esa colisión activará una animación que producirá que la puerta o el puente comiencen a deslizarse hasta llegar a sus posiciones finales; en caso del puente, se desplegará hasta

conectar el pilar desde el que sale con el pilar que tenga enfrente u, en caso de la puerta, se moverá hasta desbloquear el camino de pilares para llegar a la meta. Cuando ocurra la colisión entre la llave y el altar, también se reproducirá un efecto de sonido que será diferente para las puertas y los puentes, de forma que el jugador pueda saber qué tipo de elemento ha desbloqueado en caso de que dicho elemento no se encuentre en el campo de visión de jugador.

- **Reparación y destrucción de pilares agrietados:** cuando un jugador colisiona la cabeza del martillo contra un pilar agrietado 3 veces, dicho elemento será sustituido por un pilar normal, de forma que el jugador pueda cruzarlo con seguridad. La colisión del martillo con el pilar agrietado tendrá asociado un efecto de sonido para que el jugador tenga la seguridad de que dicha colisión se ha reproducido. En caso de que un jugador camine por encima de un pilar agrietado que no haya sido reparado, dicho pilar será destruido y el jugador comenzará a perder puntos de equilibrio hasta que se vuelva a colocar sobre un pilar normal.
- **Fantasmas:** cuando un jugador comienza un nivel del modo de juego, durante el transcurso de este se almacenará la posición y orientación de la cámara. Si el jugador consigue superar el nivel, dicha información se eliminará y comenzará a almacenarse la información del siguiente nivel pero, en caso contrario, el nivel se reiniciará y se mostrará un fantasma que recibirá la información de la posición y orientación almacenadas, representando con exactitud una imagen del jugador en la partida anterior. Cuando el fantasma haya consumido toda la información, este desaparecerá del escenario. En el tutorial sucederá algo similar, sólo que la información de la posición y la orientación que recibirá el fantasma se mantendrá estática todas las veces que el jugador reproduzca el tutorial. En este caso, cuando el fantasma consume toda la información (la cual siempre acabará en la meta), el jugador será transportado al menú principal.

El código del proyecto puede ser accedido desde en siguiente enlace: <https://github.com/hurigoitia/TFG>.

4.4 Descripción de los componentes desarrollados

En este último apartado del diseño, se describirán los componentes que se han desarrollado de forma detallada. Se expresarán las diferentes utilidades que ofrecen cada uno de estos, además de mostrar su diseño dentro de la aplicación.

4.4.1 Cámara del jugador y sensor Headquest

La cámara se encarga de permitir visualizar al jugador todo el escenario en el que se encuentre en dicho momento y el componente sensor Headquest es el encargado de representar la información de la posición y orientación del jugador en el mundo virtual. Este último componente, se representa como un cubo invisible, ya que no aporta nada a la experiencia del usuario.

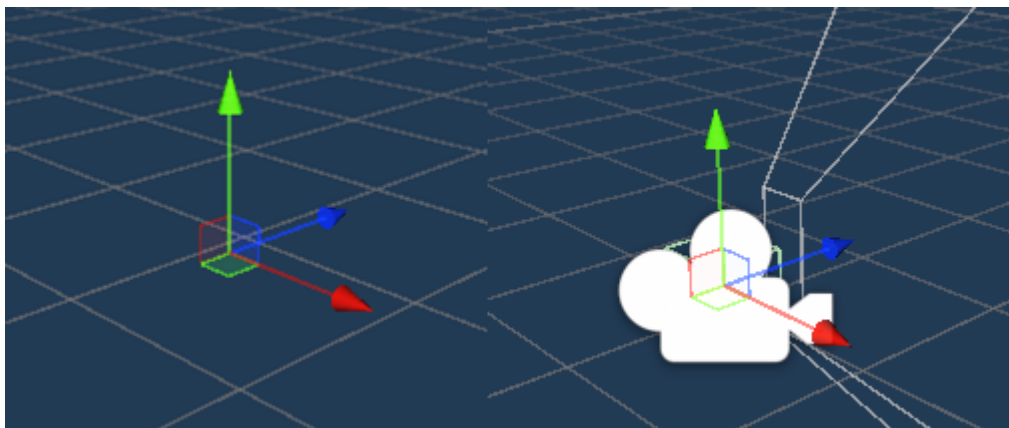


Figura 25. Cámara del jugador y el objeto Headquest.

Debido al scaling, la cámara se comunicará con el sensor Headquest para transformar la posición del jugador y duplicarla. La orientación no sufrirá ningún cambio, ya que se mantiene igual tanto para el sensor Headquest como para la cámara.

4.4.2 Llave

El caso de la llave es similar al de la cámara del jugador, ya que todas las herramientas deben recibir la información de la posición y orientación a partir de un objeto físico del mundo real a través de los sensores. Existirá un objeto invisible llamado sensor llave que recibirá la información del objeto del mundo real y la llave se encargará de manipular la información recibida por dicho objeto para transformarla acorde al scaling del escenario.

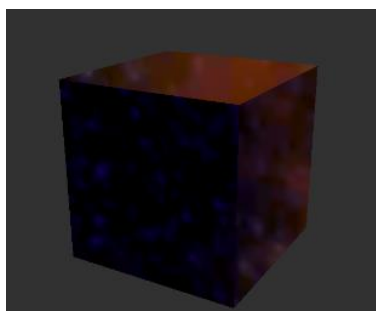


Figura 26. Llave.

La llave es un objeto con forma de cubo y de pequeñas dimensiones, equivalente a la caja física que se utiliza en el mundo real.

4.4.3 Farol

El farol es el objeto que permite al jugador iluminar su entorno. Este farol, al tratarse de una herramienta, funcionará de una manera similar a la llave. El objeto se compone por 4 modelos que le dan la apariencia de farol (la parte metálica, el cristal, la vela y la llama) y 2 elementos de iluminación que ofrece Unity.



Figura 27. Farol.

Por un lado, está el spot light, el cual se trata de un tipo de luz que tiene su origen en un punto concreto del espacio y que su emisión viene limitada por un ángulo. Esta luz es la que utilizará el jugador para iluminar el suelo por el que debe caminar.

Por otro lado, está el point light, el cual se trata de una luz que, como el spot light, tiene su origen en un punto concreto del espacio. Sin embargo, en este caso, la emisión de la luz no viene limitada por un ángulo, ya que se expande en todas las direcciones. Esta luz es utilizada de forma estética para iluminar la caja del farol, ya que la luz del spot light va dirigida hacia abajo y no ilumina la caja. La funcionalidad del point light es totalmente inmersiva.



Figura 28. El farol siendo utilizado para iluminar las zonas oscuras.

4.4.4 Sensor de sonido

El sensor de sonido se trata de un objeto pequeño, que como el resto de herramientas va asociada a un objeto y un sensor del mundo real. Este elemento se compone por numerosas piezas pequeñas que le dan su apariencia.



Figura 29. Sensor de sonido.

El sensor de sonido no sirve como tal para interactuar con ningún otro componente virtual, pero ayuda al jugador a encontrar la meta emitiendo señales visuales y auditivas que se vuelven más o menos frecuentes dependiendo de la distancia a la que se encuentre. Por esta razón, es esencial que el jugador transporte consigo este objeto, ya que la frecuencia de los sonidos y luces se basa en la distancia entre el sensor de sonido y la meta. La esfera roja situada en la punta de la antena se encarga de producir los efectos visuales, como se puede ver en la figura 30.



Figura 30. Partículas de luz en la antena del sensor de sonido.

4.4.5 Martillo

El martillo es otro objeto de tamaño reducido, que funciona como una herramienta más. La cabeza del martillo oculta en su interior un cilindro encargado de producir la interacción entre el propio martillo y los pilares agrietados.

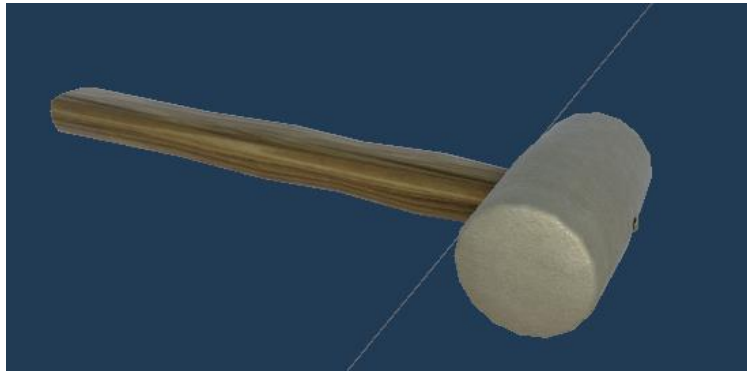


Figura 31. Martillo.

4.4.6 Suelo de lava

El suelo de lava es un plano que cubre todo el escenario y, además de ofrecer la funcionalidad de reiniciar el nivel en caso de que la lava alcance al jugador, también sirve como elemento decorativo e inmersivo, dándole al jugador la sensación de encontrarse realmente en el interior de un volcán activo.

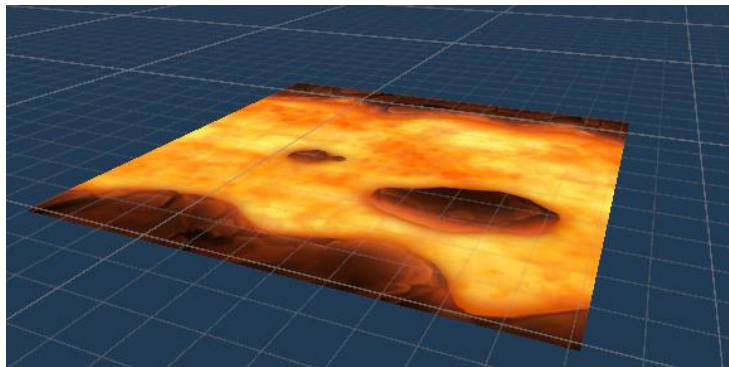


Figura 32. Suelo de lava.

Para aumentar la inmersividad, debido a que el plano de la lava es un cuadrado, se ha creado un borde que rodea todo el escenario con el único propósito de añadirle más valor al apartado visual del videojuego, como se puede ver en la figura 33.

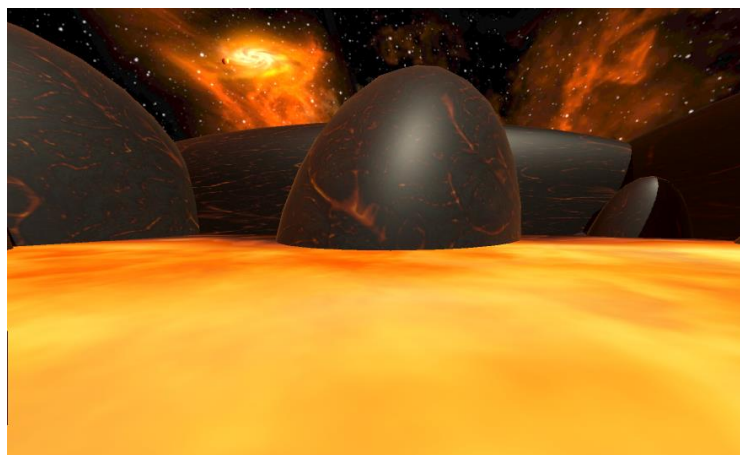


Figura 33. Suelo de lava y bordes decorativos.

4.4.7 Altares

Los altares son elementos con forma cilíndrica. Su principal cometido es servir como puntos de referencia para el jugador. Todos los altares de cada nivel sirven para desbloquear algún tipo de puerta o puente. Sus efectos comienzan cuando el jugador colisiona la llave contra cualquier parte de la superficie del altar.



Figura 34. Altar.

4.4.8 Puertas y puentes

Las puertas son elementos cuadrados y texturizados con apariencia de magma, que van acompañadas de una pared que las oculta cuando son desbloqueadas. Las puertas también tienen enlazadas una animación; cuando el jugador colisiona la llave contra el altar de la puerta, activa dicha animación que desplaza la puerta horizontalmente, ocultándola tras la pared que tiene junto a ella.

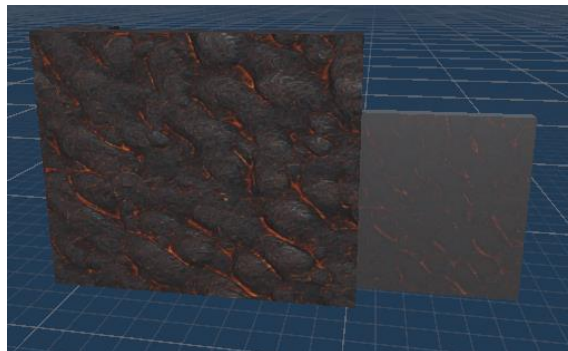


Figura 35. La pared tras la que se desplaza la puerta y la propia puerta.

Por otro lado, están los puentes, que funcionan de manera similar a las puertas. Cuando el jugador activa el altar correspondiente, se activa la animación del puente y comienza a desplazarse hasta el pilar que tenga enfrente, enlazando dos zonas del escenario que hasta ese momento no estaban conectadas entre sí, permitiendo así que el jugador pueda continuar avanzando en el nivel.

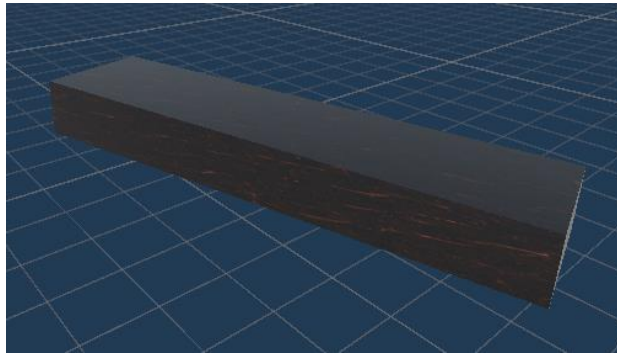


Figura 36. Puente.

4.4.9 Pilares

Los pilares tienen una apariencia similar a los puentes y las puertas, pero con un ancho menor y siendo más alargados. Todo el suelo por el que el jugador puede moverse está compuesto de pilares interconectados en los extremos.

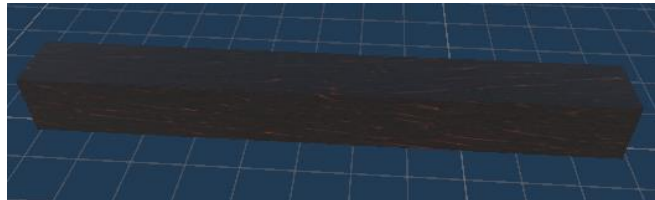


Figura 37. Pilar normal.

En el segundo nivel del modo de juego aparecen los pilares agrietados, con una apariencia diferente al resto, como se puede ver en la figura 38. Estos pilares son sustituidos por pilares normales cuando el jugador los repara utilizando el martillo, o simplemente desaparecen cuando se camina sobre ellos.



Figura 38. Pilar agrietado.

4.4.10 Meta

La meta es un cubo invisible en el que el jugador puede introducirse para dar por finalizado el nivel en el que se encuentra. Este cubo siempre irá colocado sobre un pilar con forma cuadrada que permita al jugador identificar dónde se encuentra el final del escenario (ya que dicho pilar es el único con esa forma).

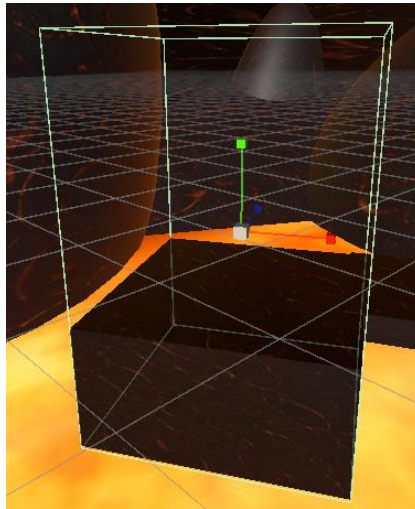


Figura 39. Meta.

4.4.11 Fantasma

El fantasma es un objeto con forma humanoide y semitransparente que estará oculto siempre que un nivel sea cargado por primera vez. Tan sólo se hará visible cuando el nivel en el que se encuentra el jugador sea reiniciado y una vez haya representado todas las posiciones del jugador en la partida anterior, volverá a desaparecer.

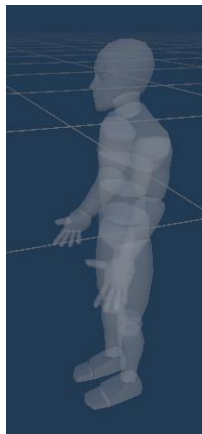


Figura 40. Fantasma.

4.4.12 Barra de equilibrio

La barra de equilibrio es un panel visible para el jugador que se ubicará en el centro de la parte superior de la pantalla. Contendrá el texto “Equilibrio: X%”, donde la X representa la cantidad de puntos de equilibrio restantes del jugador. Al inicio de un nivel se comenzará con 100 puntos y podrán ser reducidos hasta 0, donde se detendrá la ejecución del nivel y volverá a reiniciarse.



Figura 41. Barra de equilibrio.

4.4.13 Límites de seguridad

Los límites de seguridad están compuestos por 4 paredes semitransparentes de gran altura que rodearán el límite del escenario. Dicho límite representará la última posición en la que puede ubicarse el jugador en el suelo de sensores del mundo real, de cara a evitar que pueda producirse un accidente. Las paredes serán invisibles durante toda la partida salvo cuando el jugador se acerque a la zona de activación (alrededor de medio metro antes de alcanzar el límite del suelo de sensores), en la que se volverán visibles.

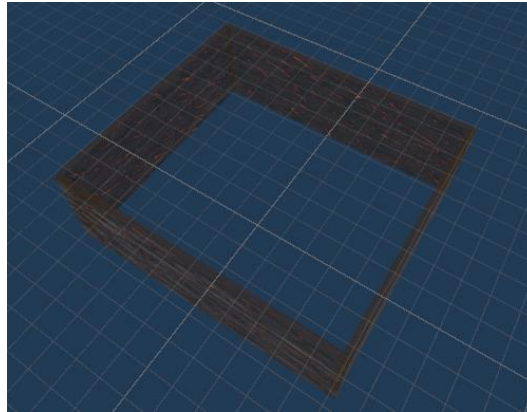


Figura 42. Paredes del límite de seguridad.

5. Marco regulador

En el siguiente apartado se detallará la legislación vigente aplicable al proyecto, además de referenciar las licencias y buenas prácticas referentes al desarrollo y uso de la aplicación.

5.1 Marco legislativo

Todo proyecto de software debe estar sujeto a las normativas legales del país en el que se desarrollará y utilizará. A continuación, se citan las leyes principales que conciernen a la aplicación y sus usuarios:

- **Ley de protección de datos:** describe cómo son manejados los datos y la información relativa al jugador, de acuerdo a la “Ley Orgánica 3/2018, de 5 de diciembre, de Protección de Datos Personales y garantía de los derechos digitales”. Debido a que la aplicación no utiliza información relativa de los usuarios de esta, no se ve afectada por esta legislación [38].
- **Ley de propiedad intelectual:** se trata de una serie de derechos atribuidos a los autores de obras de carácter científico, literario, etc. recogidas en el “Real Decreto Legislativo 1/1996, de 12 de abril, por el que se aprueba el texto refundido de la Ley de Propiedad Intelectual, regularizando, aclarando y armonizando las disposiciones legales vigentes sobre la materia” [39].

5.2 Licencias

Para el desarrollo de la aplicación, también se han tenido en cuenta las licencias correspondientes al software utilizado, en este caso, únicamente para Unity.

Este motor de videojuegos ofrece diferentes planes adquiribles desde su página web. Entre las cuatro licencias adquiribles se pueden encontrar una orientada hacia organizaciones grandes, la cual ofrece herramientas específicas para sector empresarial. También existen las licencias Plus y Pro, dirigidas especialmente a desarrolladores de videojuegos profesionales o expertos. Para el desarrollo de esta aplicación ha sido utilizada la licencia más restrictiva respecto a las funcionalidades ofrecidas por Unity, la licencia Personal. Esta licencia ofrece los recursos adecuados para la aplicación de realidad mixta que se ha desarrollado siendo, además, totalmente gratuita [40].

Por otro lado, también han sido utilizadas diferentes páginas y servicios para la obtención de modelos, sonidos y texturas utilizadas en diferentes elementos de la aplicación. Los sonidos han sido adquiridos a través de Freesound y Mixkit, mientras que para los modelos y texturas se ha utilizado Unity Asset Store.

- **Freesound:** se trata de una base de datos colaborativa de música y sonidos sujetos a la licencia Creative Commons. Todos los productos ofrecidos por esta página son gratuitos, habiéndose obtenido de esta los efectos de sonido de la lava, del martillo y del sensor de sonido [41].
- **Mixkit:** ofrece videos, audios, efectos de sonido y diferentes tipos de representaciones artísticas de forma gratuita. A los efectos de sonido adquiridos en esta página se les aplica la licencia Mixkit Sound Effects Free License, la cual autoriza al consumidor a descargar, copiar, modificar,

distribuir y reproducir públicamente cualquier efecto de sonido en cualquier página web, red social, videojuego y obra cinematográfica. Se ha utilizado para obtener los efectos de sonido de las puertas y los puentes [42].

- **Unity Asset Store:** se trata de una librería en la que es posible adquirir de forma gratuita o de pago diferentes productos desarrollados tanto por personas independientes como por Unity Technologies. La mayoría de productos ofrecidos en esta librería puede ser utilizados tanto para uso comercial como personal, mientras que en algunos casos los términos de uso los establecen terceras partes. Esta página ha sido utilizada para la adquisición del modelo de la lava, del martillo, del farol y del fantasma, además de las texturas utilizadas en los pilares y los altares [43].

5.3 Buenas prácticas

Es imprescindible mencionar también las recomendaciones respecto al uso de los dispositivos que serán utilizados por los jugadores para la ejecución de la aplicación, en pos de evitar la aparición de cualquier tipo de problema físico o psicológico en el usuario durante el transcurso de la misma:

- La exposición a un uso prolongado de las gafas de realidad virtual puede acarrear mareos y desorientación, como se menciona en el apartado 2.3 del estado del arte. Además, debido a la naturaleza propia de la realidad virtual, en la que los usuarios son expuestos a diferentes tipos de situaciones, podría causar o agravar diversos daños psicológicos [17].
Por estas razones, se recomienda limitar el tiempo de exposición a las gafas de realidad virtual entre 15 y 20 minutos por sesión e identificar a los usuarios que podrían verse afectados por el contenido de la aplicación. También es recomendable tener en cuenta las diferentes directrices de uso de cada dispositivo.
- Debido a que el usuario queda inmerso en la aplicación durante la sesión de juego, puede ser susceptible a ignorar señales de peligro como la caída de algún objeto en la zona de juego o incluso incidentes más peligrosos, como un incendio. Por estas razones, es recomendable asignar a una persona que vigile a dicho usuario como medida de supervisión y seguridad.
- Ya que los sensores utilizados van adheridos a diferentes tipos de objetos físicos, el aumento de la temperatura podría producir combustión en ciertos tipos de materiales, por lo que se recomienda apagar todos los sensores utilizados tras la sesión de juego.
- Debido a que el suelo de sensores utilizado ocupará un espacio considerable dentro de la habitación, es recomendable despejar dicha zona de cualquier objeto no esencial con el que el jugador podría tropezar o chocar.

6. Entorno socio-económico

En los siguientes apartados se analizará el impacto social y económico que puede tener la aplicación de realidad mixta descrita a lo largo del presente documento. Por otro lado, también se determinará el presupuesto de la mano de obra y del hardware y software necesario para la elaboración de la aplicación.

6.1 Impacto social

A continuación, se estudiarán las líneas del proyecto que afectan a la sociedad en su conjunto, directa o indirectamente:

- **Integración a los videojuegos de realidad mixta jugadores de diferentes rangos de edad:** los controles de la aplicación se basan en acciones que la mayoría de personas llevan a cabo en su día a día, como el propio movimiento físico utilizando las piernas, reparar distintos elementos haciendo uso de un martillo o iluminar una zona utilizando un farol. Esto podría facilitar la comprensión de dichos controles a las personas de mayor edad que las que consumen videojuegos hoy en día ya que, por lo general, suelen ser personas jóvenes y, por lo tanto, incitando un acercamiento a los videojuegos de realidad mixta de grupos de personas de mayor rango de edad.
- **Evitar el sedentarismo:** debido a que el videojuego requiere de movimiento físico para el cumplimiento de sus objetivos, como avanzar de nivel o accionar diferentes mecanismos, la utilización de esta aplicación ayudaría a las personas a ejercitarse mientras manejan el videojuego.
- **Mayor recepción a la utilización del videojuego:** ya que los videojuegos de realidad mixta no están tan extendidos como los que son ejecutados en consolas tradicionales, algunas personas podrían tener problemas aprendiendo a manejarlos y entenderlos. En el tutorial incorporado en la aplicación, es el fantasma quien resuelve el nivel, permitiendo a los jugadores primerizos entender su funcionamiento mediante aprendizaje vicario. Esto podría tener un efecto positivo en la recepción del videojuego, ya que facilitaría las tareas de aprendizaje de los jugadores e, incluso, influir en dichos usuarios a la hora de probar diferentes experiencias de realidad mixta.

6.2 Impacto económico

En este apartado se estudiarán las líneas del proyecto que causarán un efecto en la economía de las personas y de algunas organizaciones:

- **Simular experiencias reales:** el videojuego en su conjunto podría ser considerado como una simulación de una habitación de fuga, ya que el objetivo del jugador es escapar de la lava completando diferentes niveles haciendo uso de múltiples herramientas y resolviendo puzzles. Esto podría influir de manera positiva en la economía de los propietarios de las habitaciones de fuga, pudiendo incorporar a sus servicios el videojuego para atraer a más clientes.
- **Gasto de adquisición elevado para el uso personal:** para el consumo del videojuego se requieren los pertinentes sensores y las gafas de realidad virtual, elevando de manera muy grande el coste de la aplicación como se

puede observar en el presupuesto del apartado 6.3. Este hecho, por consiguiente, afectaría de manera negativa en la propia economía personal de los jugadores que adquieran la aplicación.

Sin embargo, a pesar del anterior impacto negativo, se podrían dar algunas aplicaciones del presente videojuego que podría influir de manera positiva en la economía de algunas organizaciones:

- **Uso del fantasma en la formación de los empleados de algunas empresas:** el fantasma desarrollado para el tutorial de este videojuego podría ser aplicado en aplicaciones de realidad mixta dirigidas a la formación de los empleados, permitiendo complementar los cursos de formación mediante el aprendizaje vicario proporcionado por el fantasma. Esto podría brindar a las empresas una formación más eficaz y rápida y, consecuentemente, reducir el coste de la formación de los empleados.

6.3 Presupuesto

A la hora de generar el presupuesto del proyecto, se han tenido en cuenta los costes del personal, del hardware y los indirectos. No se han incluido los costes del software debido a que la aplicación puede desarrollarse haciendo uso de la licencia gratuita de Unity.

Para calcular los costes del personal, se han creado los hipotéticos cargos que se han ejercido a lo largo de todo el desarrollo del proyecto:

- **Jefe de proyecto:** se encarga de gestionar el proyecto de manera general, asistiendo y coordinando al resto de integrantes del proyecto, planificando e incluso desarrollando.
- **Analista de sistemas:** se encarga de la creación de los requisitos de usuario y de software, además de verificar su realización.
- **Arquitecto de software:** su función es diseñar la arquitectura del sistema utilizando como base los requisitos y verificando a lo largo del proyecto que las decisiones de diseño son efectuadas.
- **Programador:** se encarga, principalmente, de la implementación de la aplicación en Unity.
- **Responsable de pruebas:** su función es llevar a cabo las pruebas que validen el correcto funcionamiento de la aplicación y la verificación de que todos los requisitos han sido incluidos en esta.

En la tabla 93 se puede observar el coste por hora de cada cargo, de cara a utilizar dichos resultados en el coste total del personal. Los salarios utilizados han sido extraídos de Glassdoor [44].

Cargo	Sueldo bruto anual	Base horaria anual	Coste (€/hora)
Jefe de proyecto	49000	1770	27.68
Analista de sistemas	35000	1770	19.77
Arquitecto de software	46000	1770	25.99

Programador	32000	1770	18.08
Resp. Pruebas	26000	1770	14.69

Tabla 93. Cálculo del coste por hora del personal.

Como se puede observar en la tabla 94, se detalla el coste total del personal.

Cargo	Horas invertidas	Coste (€/hora)	Coste total (€)
Jefe de proyecto	100	27.68	2768.36
Analista de sistemas	80	19.77	1581.92
Arquitecto de software	40	25.99	1039.55
Programador	90	18.08	1627.12
Resp. Pruebas	40	14.69	587.57
Total	-	-	7604.52

Tabla 94. Cálculo del coste total del personal.

Por otro lado, también se han introducido en el presupuesto el coste del hardware utilizado, en el que se incluyen todos los tipos de sensores utilizados para el uso y el desarrollo de la aplicación, como las gafas de realidad virtual y los ordenadores utilizados para desarrollarla. En la tabla 95, se muestran los resultados del cálculo de los costes del hardware teniendo en cuenta su amortización, debido a que el proyecto tiene una duración máxima de 7 meses.

Hardware	Precio (€)	Amortización (meses)	Coste unitario mensual (€)	Unidades	Uso (meses)	Coste total (€/7 meses)
Alt Tracker	1350	24	56.25	3	168.75	1181.25
HMD Radio Socket	120	24	5.00	3	15.00	105.00
Tracking area (floor) 10m ²	450	18	25.00	1	25.00	175.00
Oculus Quest 2	450	36	12.50	1	12.50	87.50
Portatil	534	36	14.83	1	14.83	103.83
PC	945	48	19.69	1	19.69	137.81
Total	-	-	-	-	-	1790.40

Tabla 95. Cálculo del coste del hardware.

Por último, en la tabla 96, se muestra el coste total del proyecto, teniendo en cuenta los costes del personal y del hardware, y en el que también se han incluido los gastos indirectos de la luz consumida durante el transcurso del proyecto, con un coste del 3% del coste total del personal.

Elemento	Coste (€)
Coste del hardware	1790.40
Coste de personal	7604.52
Costes indirectos	228.14
Total	9623.05

Tabla 96. Cálculo del coste total del proyecto.

Como se puede apreciar, el coste total del proyecto asciende a nueve mil seiscientos veintitrés euros con cinco céntimos (9623.05 €).

7. Gestión del proyecto

Un aspecto esencial en el desarrollo de un proyecto de software es el establecimiento de cómo se gestionarán las diferentes características de este. Para ello, se definirá la planificación, en pos de conocer la duración de los tiempos de elaboración de las diferentes partes del proyecto además de establecer las fechas límites correspondientes a cada una, así como las dependencias entre las diferentes tareas a realizar. Por otro lado, se mostrará el plan de gestión de la configuración seguido para el desarrollo en los diferentes aspectos del proyecto.

7.1 Planificación

En este apartado, se definen los diagramas de Gantt realizados tanto en la planificación inicial como en la final, de manera que sirva para definir la duración y las fechas límite de las tareas del proyecto. También se muestra el diagrama de PERT realizado en la planificación inicial, centrado en mostrar las dependencias existentes entre las diferentes tareas.

7.1.1 Diagramas de Gantt

En la planificación inicial, se trató de proyectar la duración y el reparto óptimo de las tareas a realizar, tanto en las referentes al desarrollo de la aplicación de realidad mixta como al documento de la memoria, así como las fechas de inicio y finalización de cada una de dichas tareas. En la tabla 97, se muestra la representación de la planificación inicial utilizando el diagrama de Gantt.

Tareas	Semanas (07/02/2022 - 29/08/2022)																													
	07/02	14/02	21/02	28/02	07/03	14/03	21/03	28/03	04/04	11/04	18/04	25/04	02/05	09/05	16/05	23/05	30/05	06/06	13/06	20/06	27/06	04/07	11/07	18/07	25/07	01/08	08/08	15/08	22/08	29/08
Desarrollo de una aplicación de realidad mixta																														
Elección del proyecto																														
Planteamiento de los objetivos																														
Aprendizaje de los conceptos principales de Unity																														
Familiarización con los elementos VR de Unity																														
Familiarización con los sensores Antilateny																														
Elaboración de los requisitos																														
Diseño de la arquitectura																														
Implementación																														
Pruebas																														
Documento de memoria																														
Elaboración del documento de memoria																														
Marco regulador																														
Gestión del proyecto																														
Entorno socio-económico																														
Introducción																														
Estado del arte																														
Análisis																														
Diseño																														
Pruebas																														
Conclusiones y trabajo futuro																														
Revisión																														

Tabla 97. Diagrama de Gantt de la planificación inicial.

En la planificación final, es posible observar cómo la planificación ideada al principio no fue correctamente estimada, debido principalmente a factores externos, que afectaron sobre todo a la fecha de comienzo de la elaboración de la memoria. A lo largo de la primera semana de marzo se comenzaron las prácticas empresariales con una duración de un mes y medio. Este factor, junto a la carga de trabajo de las propias asignaturas del segundo cuatrimestre más el trabajo externo a la universidad dificultaron el seguimiento de la planificación inicial. Tras esto, la preparación de los exámenes de la convocatoria de junio también afectó durante un mes al seguimiento. Por otro lado, debido a que la aplicación acabó siendo de dimensiones mayores a la esperada, la fase de implementación también fue prolongada.

En la tabla 98, se muestra la planificación final del desarrollo de la aplicación de realidad mixta y del documento de memoria mediante un diagrama de Gantt.

Tareas	Semanas (07/02/2022 - 29/08/2022)																													
	07/02	14/02	21/02	28/02	07/03	14/03	21/03	28/03	04/04	11/04	18/04	25/04	02/05	09/05	16/05	23/05	30/05	06/06	13/06	20/06	27/06	04/07	11/07	18/07	25/07	01/08	08/08	15/08	22/08	29/08
Desarrollo de una aplicación de realidad mixta																														
Elección del proyecto																														
Planteamiento de los objetivos																														
Aprendizaje de los conceptos principales de Unity																														
Familiarización con los elementos VR de Unity																														
Familiarización con los sensores Antilatency																														
Elaboración de los requisitos																														
Diseño de la arquitectura																														
Implementación																														
Pruebas																														
Documento de memoria																														
Elaboración del documento de memoria																														
Marco regulador																														
Gestión del proyecto																														
Entorno socio-económico																														
Introducción																														
Estado del arte																														
Análisis																														
Diseño																														
Pruebas																														
Conclusiones y trabajo futuro																														
Revisión																														

Tabla 98. Diagrama de Gantt de la planificación final.

7.1.2 Diagramas de PERT

Debido a que algunas de las tareas referentes al desarrollo del proyecto son dependientes unas de otras, se ha elaborado un diagrama de PERT que muestra las dependencias entre estas para añadir una mayor completitud a la comprensión de la planificación desarrollada.

En este caso, tan sólo se ha generado el diagrama correspondiente a la planificación inicial, ya que la utilidad de este es establecer el orden en el que se elaboran las diferentes tareas y la identificación de los caminos críticos a tener en cuenta a lo largo del desarrollo. En la tabla 99, es posible ver la tabla de dependencias a partir de la que se genera los diagramas de PERT.

Tarea	ID Tarea	Precedente	Duración (semanas)	Fecha de inicio (semanas)	Fecha de finalización (semanas)
Desarrollo de una aplicación de realidad mixta					
Elección del proyecto	1	Sin tareas precedentes	2	07/02	14/02
Planteamiento de los objetivos	2	1	2	14/02	21/02
Aprendizaje de los conceptos principales de Unity	3	2	4	21/02	14/03
Familiarización con los elementos VR de Unity	4	3	3	14/03	28/03
Familiarización con los sensores Antilatency	5	4	3	28/03	11/04
Elaboración de los requisitos	6	5	6	11/04	16/05
Diseño de la arquitectura	7	6	3	16/05	30/05
Implementación	8	7	7	30/05	11/07
Pruebas	9	8	3	11/07	25/07
Documento de memoria	10	2	25	14/03	29/08
Elaboración del documento de memoria					
Marco regulador	1	Sin tareas precedentes	2	21/03	28/03
Gestión del proyecto	2	Sin tareas precedentes	2	28/03	04/04
Entorno socio-económico	3	Sin tareas precedentes	2	04/04	11/04
Introducción	4	1,2,3	3	11/04	25/04
Estado del arte	5	4	5	25/04	23/05
Análisis	6	4	6	25/04	30/05
Diseño	7	5,6	5	30/05	27/06
Pruebas	8	7	6	27/06	01/08
Conclusiones y trabajo futuro	9	8	3	01/08	15/08
Revisión	10	1	23	28/03	29/08

Tabla 99. Tabla de dependencias entre las distintas tareas.

En la figura 43, se muestra la gráfica o el diagrama de PERT resultante del desarrollo de la aplicación de realidad mixta, donde en el interior de los nodos se representa el identificador de cada tarea y las flechas las diferentes dependencias. El nodo inicial y final representan el estado anterior al comienzo y al fin del proyecto, respectivamente.

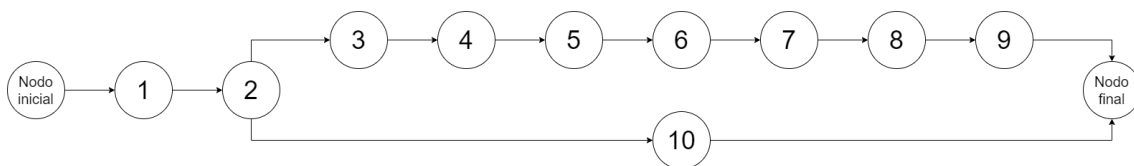


Figura 43. Diagrama de PERT del desarrollo de la aplicación de realidad mixta.

En la figura 44, se muestra de la misma forma que en el caso anterior, la gráfica o diagrama de PERT resultante del desarrollo del documento de memoria.

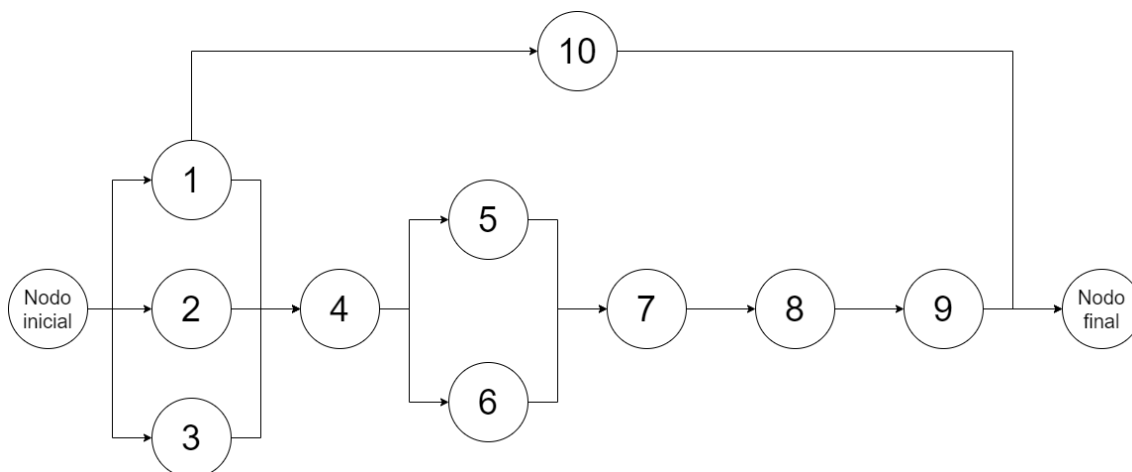


Figura 44. Diagrama de PERT del desarrollo del documento de memoria.

7.2 Plan de gestión de la configuración

En este apartado se especifican las diferentes directrices seguidas a la hora de llevar a cabo modificaciones o actualizaciones tanto en el contenido de la memoria como en el propio proyecto.

7.2.1 Esquema de identificación

En lugar de haber desarrollado el documento de la memoria a partir de un mismo documento el cual ha ido actualizándose con los diferentes contenidos, se han generado múltiples documentos, cada uno representativo de un apartado principal de la memoria. Esto se debe a la facilidad que otorga este método a la hora de modificar y elaborar cada apartado de la misma y en la comunicación con el tutor.

Por estas razones, se ha elaborado un esquema de identificación que permita determinar la parte del documento de la memoria principal a la que pertenece, el nombre de dicho apartado y, por último, la versión en la que se encuentra dicho documento. La nomenclatura seguida es la siguiente:

<Número del apartado>.<versión del documento> <Nombre del apartado>

- **Número del apartado:** representa el lugar al que corresponde el contenido del documento dentro del documento de la memoria principal.
- **Versión del documento:** inicialmente cero, representa la versión en la que se encuentra el documento. Con cada corrección se aumenta esta cifra.
- **Nombre del apartado:** representa el nombre del apartado que se elabora en dicho documento.

7.2.2 Biblioteca de almacenamiento

La biblioteca de almacenamiento de todos los documentos y diagramas generados se implementa en almacenamiento local, en el mismo disco duro del equipo en el que se elaboran. También es utilizada para almacenar los archivos ajenos al código de la aplicación de realidad mixta, como imágenes y efectos de sonido. A continuación, en la figura 45, se muestra su estructura:

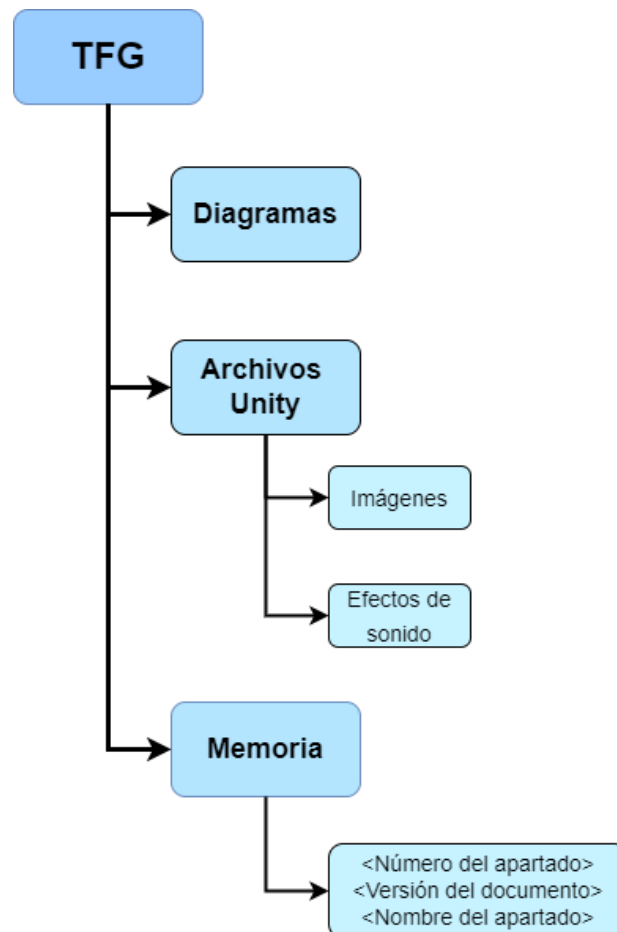


Figura 45. Estructura de la biblioteca de almacenamiento.

7.2.3 Biblioteca de back-up

Las copias de seguridad de los documentos y archivos son realizadas periódicamente, cada vez que se modifica alguno de estos. Estas copias de seguridad son almacenadas tanto en Google Drive como en almacenamiento local, en una memoria USB, con la misma estructura utilizada en la biblioteca de almacenamiento.

7.2.4 Biblioteca del código fuente

La biblioteca utilizada para almacenar el código fuente se trata principalmente de GitHub, la cual es utilizada al mismo tiempo como control de versiones del código desarrollado para la aplicación de realidad mixta, cada vez que se desarrolla un nuevo fragmento. Una copia del código fuente también es almacenada en el equipo local.

8. Pruebas

En este apartado se definirán los casos de prueba necesarios para validar los requisitos de software funcionales y no funcionales especificados en el apartado 3.4 del presente documento. Estas validaciones determinan la correcta o incorrecta implementación de las funcionalidades incorporadas en la aplicación, en pos de servir como método de corrección de los requisitos que no sean validados por las pruebas y, así, evitar errores de ejecución. Para esta tarea, se utilizará la plantilla de la tabla 100:

Identificador	
Objetivo	
Requisitos involucrados	
Resultado esperado	
Resultado obtenido	
Estado	

Tabla 100. Plantilla de casos de prueba.

- **Identificador:** código de identifica de manera unívoca cada prueba realizada. Este identificador seguirá la siguiente estructura:

PS-<tipo de requisito>-<número identificador de la prueba>

Donde <tipo de requisito> representa:

- **F:** para los requisitos funcionales.
 - **NF:** para los requisitos no funcionales.
- **Objetivo:** breve descripción de la finalidad de la prueba.
 - **Requisitos involucrados:** listado de los códigos identificadores de los requisitos que son validados en la prueba.
 - **Resultado esperado:** resultado que se espera obtener antes de realizar la prueba.
 - **Resultado obtenido:** resultado real obtenido tras finalizar la prueba.
 - **Estado:** determina si el resultado de la prueba valida de forma correcta los requisitos involucrados en esta. En caso de los requisitos no validados, se determinará si es necesaria la implementación de estos dependiendo de su necesidad y prioridad.

8.1 Validación de requisitos de software funcionales

A continuación, se identifican los casos de prueba oportunos para validar el correcto funcionamiento de los requisitos de software funcionales.

PS-F-01	
Objetivo	Comprobar el correcto funcionamiento de los altares.

Requisitos involucrados	RS-F-01, RS-F-03, RS-F-04, RS-F14, RS-F-15
Resultado esperado	Los altares producirán los respectivos efectos cuando se colisione la llave contra ellos.
Resultado obtenido	Los altares producen los efectos correctos respectivos a cada uno de ellos.
Estado	Validada

Tabla 101. Caso de prueba PS-F-01.

PS-F-02	
Objetivo	Comprobar el correcto funcionamiento del menú principal.
Requisitos involucrados	RS-F-02
Resultado esperado	Será posible acceder desde el menú principal al modo de juego, al tutorial y al panel de instrucciones.
Resultado obtenido	Es posible acceder al modo de juego, al tutorial y al panel de instrucciones desde el menú principal.
Estado	Validada

Tabla 102. Caso de prueba PS-F-02.

PS-F-03	
Objetivo	Comprobar que el jugador pueda salir de la aplicación en cualquier momento.
Requisitos involucrados	RS-F-05
Resultado esperado	Es posible para el jugador salir del juego en cualquier momento.
Resultado obtenido	El jugador puede salir del juego en cualquier momento.
Estado	Validada

Tabla 103. Caso de prueba PS-F-03.

PS-F-04	
Objetivo	Comprobar el correcto funcionamiento del martillo y los pilares agrietados.
Requisitos involucrados	RS-F-06, RS-F-07, RS-F-08
Resultado esperado	Los pilares agrietados serán sustituidos por pilares normales cuando el jugador colisiona el martillo 3 veces contra alguno de ellos.
Resultado obtenido	Los pilares agrietados son sustituidos por pilares normales cuando el jugador colisiona el martillo 3 veces contra alguno de ellos.
Estado	Validada

Tabla 104. Caso de prueba PS-F-04.

PS-F-05	
Objetivo	Comprobar el correcto funcionamiento de la destrucción de los pilares agrietados.
Requisitos involucrados	RS-F-09

Resultado esperado	Los pilares agrietados son destruidos cuando el jugador camina por encima de estos.
Resultado obtenido	Los pilares agrietados son destruidos cuando el jugador pasa por el centro de estos.
Estado	Validada

Tabla 105. Caso de prueba PS-F-05.

PS-F-06	
Objetivo	Comprobar el correcto funcionamiento del farol.
Requisitos involucrados	RS-F-10
Resultado esperado	El farol debe permitir al jugador iluminar sus alrededores inmediatos.
Resultado obtenido	El farol permite al jugador iluminar sus alrededores inmediatos.
Estado	Validada

Tabla 106. Caso de prueba PS-F-06.

PS-F-07	
Objetivo	Comprobar el correcto funcionamiento del sensor de sonido.
Requisitos involucrados	RS-F-11
Resultado esperado	El sensor de sonido debe variar la frecuencia de emisión de señales auditivas utilizando como referencia la distancia a la que se encuentre de la meta.
Resultado obtenido	El sensor de sonido varía correctamente la frecuencia de emisión de señales auditivas utilizando como referencia la distancia a la que se encuentra de la meta.
Estado	Validada

Tabla 107. Caso de prueba PS-F-07.

PS-F-08	
Objetivo	Comprobar el correcto funcionamiento de la progresión de niveles.
Requisitos involucrados	RS-F-12, RS-F-13
Resultado esperado	El jugador debe avanzar al menú principal en caso de completar el nivel 3 y, en caso de no encontrarse en dicho nivel, avanzará al siguiente.
Resultado obtenido	La progresión de niveles del jugador se lleva a cabo de forma correcta.
Estado	Validada

Tabla 108. Caso de prueba PS-F-08.

PS-F-09	
Objetivo	Comprobar el correcto funcionamiento del reinicio de nivel.
Requisitos involucrados	RS-F-16, RS-F-18
Resultado esperado	El nivel debe reiniciarse cuando los puntos de equilibrio del jugador lleguen a 0 o cuando sea alcanzado por el suelo de lava.

Resultado obtenido	El nivel se reinicia cuando el jugador es alcanzado por el suelo de lava o sus puntos de equilibrio llegan a 0.
Estado	Validada

Tabla 109. Caso de prueba PS-F-09.

PS-F-10	
Objetivo	Comprobar que el jugador pueda desplazarse de forma correcta por el escenario.
Requisitos involucrados	RS-F-17, RS-F-20, RS-F-22
Resultado esperado	El jugador podrá desplazarse por todo el escenario a través de los puentes y los pilares y, en caso de no caminar por encima de alguno de estos elementos, perderá puntos de equilibrio.
Resultado obtenido	El jugador puede moverse por el escenario a través de los pilares y puentes y, en caso de no caminar por estos, comienza a perder puntos de equilibrio de forma continua.
Estado	Validada

Tabla 110. Caso de prueba PS-F-10.

PS-F-11	
Objetivo	Comprobar el correcto funcionamiento del fantasma del modo de juego.
Requisitos involucrados	RS-F-19
Resultado esperado	Cuando se reinicia el nivel, deberá aparecer un fantasma que imite las acciones del jugador en la partida anterior.
Resultado obtenido	Cuando se reinicia el nivel, aparece un fantasma que imita las acciones de la partida anterior del jugador.
Estado	Validada

Tabla 111. Caso de prueba PS-F-11.

PS-F-12	
Objetivo	Comprobar que el espacio virtual está limitado por el espacio real disponible.
Requisitos involucrados	RS-F-21
Resultado esperado	El jugador deberá alcanzar el límite del espacio virtual cuando se acerque al límite del espacio físico real.
Resultado obtenido	El jugador alcanza el límite del espacio virtual cuando se acerca al límite del espacio físico real.
Estado	Validada

Tabla 112. Caso de prueba PS-F-12.

8.2 Validación de requisitos de software no funcionales

A continuación, se identifican los casos de prueba oportunos para validar el correcto funcionamiento de los requisitos de software no funcionales.

PS-NF-01	
Objetivo	Comprobar que el jugador y los objetos físico transmiten su posición a la aplicación en tiempo real.

Requisitos involucrados	RS-NF-REN-01
Resultado esperado	Los cambios de posición y orientación del jugador y de los objetos físicos se deben representar al instante en la aplicación.
Resultado obtenido	Los cambios de posición y orientación del jugador y de los objetos físicos se representan al instante en la aplicación.
Estado	Validada

Tabla 113. Caso de prueba PS-NF-01.

PS-NF-02	
Objetivo	Comprobar la correcta colocación y dimensión de la barra de equilibrio.
Requisitos involucrados	RS-NF-INFAZ-01, RS-NF-INDAZ-02
Resultado esperado	La barra de equilibrio debe ubicarse en el extremo centro superior de la vista del jugador y tener una dimensiones que no obstaculicen dicha vista.
Resultado obtenido	La barra de equilibrio se ubica en el extremo centro superior de la vista del jugador y tener una dimensiones que no obstaculizan dicha vista.
Estado	Validada

Tabla 114. Caso de prueba PS-NF-02.

PS-NF-03	
Objetivo	Comprobar que cada altar del menú principal tiene asociado un texto que identifica su funcionalidad.
Requisitos involucrados	RS-NF-INFAZ-03
Resultado esperado	Deben aparecer un panel de texto encima de cada altar, en el que se especifique su funcionalidad.
Resultado obtenido	Cada altar del menú principal dispone, en la parte superior de este, de un panel de texto que identifica su funcionalidad.
Estado	Validada

Tabla 115. Caso de prueba PS-NF-03.

PS-NF-04	
Objetivo	Comprobar que el idioma en el que se representa toda la información es el español.
Requisitos involucrados	RS-NF-RES-01
Resultado esperado	Todos los textos deben aparecer definidos en español.
Resultado obtenido	Todos los textos están definidos en español.
Estado	Validada

Tabla 116. Caso de prueba PS-NF-04.

PS-NF-05	
Objetivo	Comprobar que el suelo de lava tarde en alcanzar al jugador 1 minuto y 40 segundos.

Requisitos involucrados	RS-NF-RES-02
Resultado esperado	El suelo de lava debe tardar en alcanzar al jugador 1 minuto y 40 segundos.
Resultado obtenido	El suelo de lava tarda en alcanzar al jugador 1 minuto y 40 segundos.
Estado	Validada

Tabla 117. Caso de prueba PS-NF-05.

PS-NF-06	
Objetivo	Comprobar que el jugador pierde 1.25 puntos de equilibrio por cada segundo que no pasa sobre un pilar o un puente.
Requisitos involucrados	RS-NF-RES-03
Resultado esperado	El jugador deberá perder 1.25 puntos de equilibrio por cada segundo que no pasa sobre un pilar o un puente.
Resultado obtenido	El jugador pierde 5 puntos de equilibrio cada 4 segundos, si este no se encuentra sobre un pilar o un puente.
Estado	Validada

Tabla 118. Caso de prueba PS-NF-06.

PS-NF-07	
Objetivo	Comprobar que no se pueden conectar sensores diferentes a los objetos virtuales una vez iniciada la aplicación.
Requisitos involucrados	RS-NF-RES-04
Resultado esperado	Tras encender un sensor no utilizado en la aplicación, ningún sensor asociado a los objetos virtuales o a la cámara del jugador deberá ser reemplazado por el nuevo.
Resultado obtenido	Ningún sensor es reemplazado tras encender un nuevo sensor tras el inicio de la aplicación.
Estado	Validada

Tabla 119. Caso de prueba PS-NF-07.

PS-NF-08	
Objetivo	Comprobar que el nivel es reiniciado cuando las condiciones son cumplidas.
Requisitos involucrados	RS-NF-RES-05, RS-NF-RES-06
Resultado esperado	El nivel actual será reiniciado si el jugador es alcanzado por el nivel de lava o sus puntos de equilibrio descienden a 0.
Resultado obtenido	El nivel actual es reiniciado cuando el jugador es alcanzado por el nivel de lava o sus puntos de equilibrio descienden a 0.
Estado	Validada

Tabla 120. Caso de prueba PS-NF-08.

PS-NF-09	
Objetivo	Comprobar que la aplicación no pueda ser iniciada sin el casco de realidad virtual y los dos objetos físicos asociados a las herramientas.

Requisitos involucrados	RS-NF-RES-07
Resultado esperado	El jugador no deberá poder iniciar la aplicación sin disponer del casco de realidad virtual y de los dos objetos físicos asociados a las herramientas.
Resultado obtenido	La aplicación no puede ser iniciada sin el casco de realidad virtual, pero sí que puede ser iniciada si se dispone de este, aunque el jugador no disponga de los dos objetos físicos.
Estado	Validada.

Tabla 121. Caso de prueba PS-NF-09.

PS-NF-10	
Objetivo	Comprobar el correcto funcionamiento de las paredes de seguridad.
Requisitos involucrados	RS-NF-SEG-01
Resultado esperado	Cuando el jugador se acerca al límite del suelo físico, en el escenario virtual se desplegará una pared semitransparente frente al jugador.
Resultado obtenido	Cuando el jugador se acerca al límite del suelo físico, el escenario virtual muestra una pared semitransparente frente al jugador.
Estado	Validada

Tabla 122. Caso de prueba PS-NF-10.

PS-NF-11	
Objetivo	Comprobar que el jugador pueda seleccionar el modo de juego, el tutorial o el panel de instrucciones desde el menú principal.
Requisitos involucrados	RS-NF-OPE-01
Resultado esperado	El menú principal deberá permitir al jugador seleccionar cualquiera de los 3 modos.
Resultado obtenido	El jugador puede acceder al modo de juego, al tutorial o ver el panel de instrucciones desde el menú principal.
Estado	Validada

Tabla 123. Caso de prueba PS-NF-11.

PS-NF-12	
Objetivo	Comprobar el correcto funcionamiento de la ayuda visual del sensor de sonido.
Requisitos involucrados	RS-NF-ACC-01
Resultado esperado	La antena del sensor de sonido deberá emitir luces que variarán la frecuencia de aparición dependiendo de la distancia a la que se encuentre de la meta.
Resultado obtenido	La frecuencia de emisión de las luces de la antes del sensor de sonido se verá influenciada por la distancia a la que se encuentre de la meta. La frecuencia de las luces coincide con la de la ayuda auditiva.
Estado	Validada

Tabla 124. Caso de prueba PS-NF-12.

PS-NF-13	
Objetivo	Comprobar que los controles de la aplicación evoquen a acciones del mundo real.

Requisitos involucrados	RS-NF-USA-01, RS-NF-USA-04
Resultado esperado	El jugador deberá poder mover la cámara del mundo virtual, caminando sobre el suelo del mundo real y podrá utilizar las herramientas de la misma forma que son utilizadas en el mundo real.
Resultado obtenido	El jugador desplaza la cámara del mundo virtual moviéndose por el suelo del mundo real y las herramientas se utilizan llevando a cabo acciones del mundo real.
Estado	Validada

Tabla 125. Caso de prueba PS-NF-13.

PS-NF-14	
Objetivo	Comprobar el correcto funcionamiento del tutorial.
Requisitos involucrados	RS-NF-USA-02, RS-NF-USA-03
Resultado esperado	El jugador podrá observar en el tutorial un fantasma que utiliza las herramientas y que completa los niveles de la misma forma que lo haría un jugador.
Resultado obtenido	El jugador puede aprender acerca del videojuego y sus controles, observando cómo un fantasma resuelve el nivel del tutorial imitando las acciones de un jugador genérico.
Estado	Validada

Tabla 126. Caso de prueba PS-NF-14.

PS-NF-15	
Objetivo	Comprobar que el jugador puede completar el videojuego utilizando, durante el transcurso del mismo, tan sólo 2 objetos físicos.
Requisitos involucrados	RS-NF-USA-05
Resultado esperado	El jugador podrá completar el videojuego haciendo uso de los 2 mismos objetos físicos.
Resultado obtenido	El jugador completa el videojuego utilizando los 2 mismos objetos físicos. Cuando avanza de nivel, los objetos virtuales del nivel anterior son sustituidos por otros diferentes, dependiendo del nivel, sin necesidad de sustituir los objetos físicos.
Estado	Validada

Tabla 127. Caso de prueba PS-NF-15.

9. Conclusiones

A continuación, se procederá a exponer las conclusiones alcanzadas tras la realización de este proyecto. Este análisis se llevará a cabo a través de la verificación de los objetivos propuestos al inicio. Asimismo, cabrá mencionar las diferentes disciplinas adquiridas y las potenciales mejorar y funcionalidades que podrían incluirse al videojuego en el futuro.

9.1 Objetivos cumplidos y conclusiones

El primer objetivo definido para este proyecto, y el principal, fue el desarrollo de un videojuego de realidad mixta. Mediante el uso del casco y de los diferentes sensores ha sido posible llevar a cabo un entorno totalmente inmersivo para el usuario, en el que tanto el movimiento como las acciones que le permiten interactuar con este no dependen de controladores sino de acciones naturales llevadas a cabo en el mundo real. Además, el videojuego ofrece una sensación de progresión, al encontrarse dividido en diferentes niveles que escalan su dificultad, siendo cada uno más complejo de resolver que el anterior. Por lo tanto, este objetivo puede considerarse cumplido.

El segundo objetivo planteado fue la capacidad de la aplicación de capturar el movimiento del usuario. Mediante un sensor de posición adherido al casco de realidad virtual y con la asistencia del suelo de sensores por el que se movía el usuario, fue posible su correcta implementación, permitiendo el libre movimiento de este por el escenario del videojuego sin la necesidad de utilizar ningún controlador. Este movimiento, además, era transmitido lo suficientemente rápido a la aplicación como para no mostrar ningún tipo de retardo y manteniéndose constantemente fluido. Debido a que las dimensiones del suelo de sensores limitaban en gran medida el tamaño del escenario, se decidió hacer uso de la técnica de scaling, mencionada en el apartado 2.3.5. Esto producía un desfase entre la distancia real recorrida por el usuario y la recorrida por la cámara en el videojuego, lo cual no ha sido la manera idónea de mantener la inmersividad, pero siendo, sin embargo, necesaria su aplicación para no limitar las dimensiones del escenario virtual. Por lo tanto, este objetivo también ha sido cumplido.

El tercer objetivo determinaba la inclusión de objetos físicos que permitiesen interactuar con el escenario virtual mediante acciones naturales llevadas a cabo por el usuario. Este objetivo también puede considerarse cumplido, ya que se han añadido cuatro herramientas virtuales diferentes que, mediante su contraparte real, permitían interactuar con los diferentes elementos del videojuego.

El último objetivo consistía en incorporar ayudas visuales que sirviesen como representaciones del jugador que interactuasen con la información del escenario virtual. Tanto en el tutorial como en el modo de juego han sido incorporados estas ayudas visuales. En el tutorial, esta representación del jugador, siguiendo una ruta y una serie de acciones predefinidas, completa dicho nivel haciendo uso de las mismas opciones disponibles para el jugador; moviéndose por los pilares, utilizando la llave para desbloquear las puertas y los puentes y dirigiéndose a la meta para completar el nivel, permitiendo al usuario entender el funcionamiento de las dinámicas del videojuego a través de la pura observación e imitación. Por otro lado, en el modo de juego, se ha incorporado otra representación del jugador ligeramente

diferente a la del tutorial. En lugar de seguir ciertas acciones predefinidas, esta ayuda visual aparece cada vez que el nivel ha sido reiniciado; es decir, cuando el jugador no ha conseguido completarlo, ya sea porque ha sido alcanzado por la lava o porque los puntos de equilibrio se han visto reducidos a cero, permitiendo al jugador estudiar las acciones y el recorrido seguido por él mismo en la partida anterior y superarlo o mejorarlo para conseguir llegar a la meta. Por lo tanto, este último objetivo también ha sido completado.

Tras la compleción de los cuatro objetivos, cabe destacar cierto conocimiento adquirido a lo largo del desarrollo del proyecto y las conclusiones extraídas de este.

En primer lugar, tras el constante proceso de aprendizaje y desarrollo de un proyecto de software durante los últimos siete meses, es destacable el esfuerzo que conlleva, no tan solo por el trabajo plasmado en el proyecto, sino por el periodo de cimentación de los conocimientos hasta la hora de comenzar el desarrollo. Antes de comenzar la elaboración de la aplicación, fue necesario el aprendizaje de todos los conceptos principales de Unity, ya que se trata de una plataforma que no ha sido trabajada a lo largo del grado, al igual que los conceptos de realidad virtual, aumentada y mixta, salvo unas breves menciones. El aprendizaje de Unity fue acompañado del desarrollo de un videojuego sencillo y tradicional en 3D y de una aplicación simple basada en realidad virtual, además de revisar el lenguaje de programación C#, con el que no se había llegado a desarrollar durante todo el grado un proyecto de estas dimensiones. Tras esto, comenzó el periodo de habituación a incorporar los sensores Antilatency y comenzar el desarrollo de la aplicación de realidad mixta. Siendo cierto que ha conllevado mucho más trabajo del que se esperaba, también ha permitido aprender acerca de tecnologías no tratadas durante el transcurso del grado, adquiriendo conocimiento de gran utilidad para el futuro.

En segundo lugar, cabe destacar que, por primera vez en el transcurso del grado, ha sido necesario llevar a cabo un proyecto de software por cuenta propia, siendo incluso más extenso que cualquier proyecto desarrollado en grupo. Esto ha permitido ver la importancia de llevar a cabo una buena planificación y gestión del tiempo y de lo mucho que puede influenciar el resultado final. Siendo cierto que ha habido factores externos que han impedido en gran medida la dedicación completa al proyecto, también es de tener en cuenta que una mejor planificación hubiese permitido desarrollar de forma más eficaz la etapa final del desarrollo del proyecto y la elaboración del presente documento.

En tercer y último lugar, cabe destacar el gran abanico de posibilidades y la utilidad que se ha visto que ofrece la realidad mixta de cara a diferentes aplicaciones y sectores. Siendo cierto que a día de hoy existen muchas limitaciones, debido a que esta tecnología no ha madurado del todo, es interesante considerar la capacidad de apoyo que tendrá, por ejemplo, para las formaciones, como se ha podido observar en este proyecto con la representación del jugador en el tutorial. Desde clases interactivas hasta la posibilidad de seguir el aprendizaje de una herramienta o aplicación mediante el uso de ayudas visuales que interactúen con los elementos a estudiar.

9.2 Futuras líneas de trabajo

Se describirán, a continuación, las posibles mejoras que podrían incluirse para perfeccionar el videojuego y algunas de las funcionalidades o cambios que habría sido interesante incluir antes de la finalización del proyecto, pero que no fue posible debido a la falta de tiempo:

- **Poder pausar el juego y regresar al menú principal:** una de las funcionalidades más básicas que no ha sido incorporado debido a que durante el desarrollo de la aplicación se priorizaron las definidas en los objetivos del presente documento. Da cara a ofrecer más libertad al usuario a la hora de utilizar el videojuego sería añadir la posibilidad de pausarlo en cualquier momento, ya que pueden surgir factores externos que requieran de la atención del usuario y, de esta forma, no se perdería el avance logrado cuando este retire el casco de realidad virtual. De la misma forma, por diferentes razones como no sentirse del todo preparado para afrontar el modo de juego y querer visitar el tutorial antes de seguir avanzando, sería necesaria la inclusión de una funcionalidad que permita al usuario regresar al menú principal.
- **Tutorial más extenso:** en el tutorial actual, el fantasma completa el nivel utilizando únicamente la llave, centrándose principalmente en mostrar cómo completar un nivel y dejando de lado el resto de herramientas, por lo que el jugador tiene que averiguar el funcionamiento de estas durante el modo de juego. Por estas razones, sería beneficioso incluir un tutorial más extenso, que muestre al jugador mediante el uso del fantasma a utilizar el resto de herramientas. De la misma forma, para añadir más matices al aprendizaje del usuario, sería interesante incluir un segundo tutorial o una “zona de entrenamiento” que permitiese al jugador, en un entorno seguro, practicar con las herramientas y estudiar su funcionamiento.
- **Representación de los brazos del jugador:** a pesar de que el usuario sujeta con las manos los objetos físicos asociados a las herramientas, en el escenario virtual dichos elementos aparecen flotando a su alrededor, ya que no se ha implementado la representación de los brazos del jugador. Resultaría beneficioso, de cara a la inmersividad del videojuego, permitir al usuario ver dónde se encuentran sus brazos y cómo está sujetando las herramientas.
- **Un cinturón de herramientas:** cuando se avanza de nivel, a pesar de que el usuario está sujetando con las manos los mismos objetos físicos, las herramientas cambian a las necesarias para completar el nivel actual. Para añadir un mayor grado de realismo, sería posible incluir un cinturón de herramientas en el escenario virtual directamente bajo la cámara del jugador, a la altura de la cintura, que muestre todas las que están disponibles a lo largo del modo de juego. El jugador podría entonces llevar una de las herramientas de su mano al cinturón, almacenarla y retirar una diferente. De esta forma, sería posible no tener que sustituirlas al avanzar de nivel y que dicha acción pase a corresponder al jugador, siendo este el que valore cuándo es necesaria alguna herramienta diferente a la que está sujetando en ese momento.

- **Cambiar la dificultad:** para añadir un mayor nivel de progresión al actual y permitir que los jugadores puedan medir cuánto han mejorado, sería interesante añadir un selector de dificultad antes de comenzar el modo de juego. Esta dificultad determinaría la velocidad a la que se eleva el nivel de lava y la cantidad que puntos de equilibrio que pierde el jugador cuando deja de caminar sobre los pilares.
- **Más herramientas y más niveles:** uno de los aspectos más atractivos del videojuego es la posibilidad de utilizar diferentes herramientas en cada nivel que permitan al jugador seguir avanzando por el escenario hasta alcanzar la meta. Por esta razón, sería interesante y beneficios incluir más niveles que den paso a la implementación de más herramientas que lleven al usuario a realizar acciones diferentes a las ya existentes para utilizarlas.
- **Utilizar una ayuda visual la primera vez que se entra al videojuego:** para que un jugador puede aprender el funcionamiento de la llave, es necesario entrar en el tutorial. Sin embargo, para acceder a este, se requiere utilizar esa misma llave, pudiendo ocasionar problemas a jugadores primerizos que no tengan demasiada experiencia con videojuegos o experiencias de realidad mixta. Por esta razón, resultaría útil incluir un fantasma que se reproduzca una sola vez en el menú principal al iniciar el videojuego, mostrando la acción que debe llevar a cabo el usuario mediante la llave para iniciar el tutorial, el modo de juego o mostrar el panel de instrucciones. De esta forma, el jugador podría acceder con seguridad al tutorial y, una vez encontrándose en este, aprender el funcionamiento completo del videojuego.
- **Multijugador:** se estudió la posibilidad de incluir la capacidad del videojuego de soportar la presencia de dos jugadores, pero por falta del tiempo esta idea fue descartada. Resultaría interesante debido a que las posibilidades que podría ofrecer el videojuego se multiplicarían, pudiendo crear niveles en los que los jugadores tuviesen que colaborar para alcanzar la meta o, incluso, permitiendo que estos pudiesen sabotearse entre sí y competir para llegar primero a la meta, por ejemplo, pudiendo destruir parte del camino de pilares.

10. Bibliografía

- [1] C. Kolmar. “23 Amazing virtual reality statistics [2022]: The future of VR + AR” zippia.com. Accedido: agosto de 2022. [Online] Disponible: <https://www.zippia.com/advice/virtual-reality-statistics/>
- [2] “real world” dictionary.com. Accedido: agosto de 2022. [Online] Disponible: <https://www.dictionary.com/browse/real-world>
- [3] E. Chen, K. Richards, J. Thrower y E. Gillum. “Virtual worlds” cs.stanford.edu. Accedido: agosto de 2022. [Online] Disponible: <https://cs.stanford.edu/people/eroberts/cs201/projects/2007-08/virtual-worlds/history.html>
- [4] M. Schnipper. “Seeing is believing: the state of virtual reality” theverge.com. Accedido: agosto de 2022. [Online] Disponible: <https://www.theverge.com/a/virtual-reality/intro>
- [5] J. M. Norman. “The Sensorama: One of the First Functioning Efforts in Virtual Reality”. <https://www.historyofinformation.com/> Accedido: agosto de 2022. [Online] Disponible: <https://www.historyofinformation.com/detail.php?id=2785>
- [6] A. Ismail y J. S. Pillai. “Virtual Reality: Introduction” www.dsource.in. Accedido: agosto de 2022. [Online] Disponible: <https://www.dsource.in/course/virtual-reality-introduction/evolution-vr/sword-damocles-head-mounted-display>
- [7] Center for Mobile Communication Studies. “Will augmented reality lead the next communication revolution?” sites.bu.edu. Accedido: agosto de 2022. [Online] Disponible: <https://sites.bu.edu/cmcs/2018/09/14/will-augmented-reality-lead-the-next-communication-revolution/>
- [8] J. Bardi. “What Is Virtual Reality: Definitions, Devices, and Examples” marxentlabs.com. Accedido: agosto de 2022. [Online] Disponible: <https://www.marxentlabs.com/what-is-virtual-reality/>
- [9] Y. Ratushnyi. “Why You Should Give Up on PC VR and Focus on Standalone VR Apps” visartech.com. Accedido: agosto de 2022. [Online] Disponible: <https://www.visartech.com/blog/advantages-of-standalone-vr-over-pc-vr/>
- [10] S. Noble. “The 8 best smartphones virtual reality headsets of 2021” aniwaa.com. Accedido: agosto de 2022. [Online] Disponible: <https://www.aniwaa.com/buyers-guide/vr-ar/best-smartphone-vr-headset/>
- [11] E. Cervantes. “Mobile VR headsets: What are your best options?” androidauthority.com. [Online] Disponible: <https://www.androidauthority.com/mobile-vr-803034/>
- [12] J. B. Rylah. “Scent’s purpose in virtual reality” thehustle.co. Accedido: agosto de 2022. [Online] Disponible: <https://thehustle.co/03032022-scent-vr/>
- [13] I. Wigmore. “Omnidirectional treadmill (ODT)” techtarget.com. Accedido: agosto de 2022. [Online] Disponible: <https://www.techtarget.com/whatis/definition/omnidirectional-treadmill-ODT>

- [14] "An Omni-Directional Treadmill Revolutionizes VR". techbriefs.com. Accedido: agosto de 2022. [Online] Disponible: <https://www.techbriefs.com/component/content/article/tb/supplements/md/features/applications/45513>
- [15] L. Goode. "Facebook Reaches for More Realistic VR With Haptic Gloves" wired.com. Accedido: agosto de 2022. [Online] Disponible: <https://www.wired.com/story/facebook-haptic-gloves-vr/>
- [16] K. Vasylevska, I. Podkosova y H. Kaufmann. "Walking in Virtual Reality: Flexible Spaces and Other Techniques" (marzo de 2015)
- [17] Lorrin. "Seis grados de libertad (6dof)" techinfo.wiki. Accedido: agosto de 2022. [Online] Disponible: <https://techinfo.wiki/seis-grados-de-libertad-6dof/>
- [18] L. Ko, H. Lee y S. Tsai. "EEG-based motion sickness classification system with genetic feature selection" (abril de 2013)
- [19] Cyberith. "Virtualizer Research & Development Kit" cyberith.com. Accedido: agosto de 2022. [Online] Disponible: <https://www.cyberith.com/virtualizer-rd-kit/>
- [20] G. Bruder, F. Steinicke y K. H. Hinrichs. "Arch-explore: A natural user interface for immersive architectural walkthroughs" (2009)
- [21] M. Usoh, K. Arthur, M. C. Whitton, R. Bastos, A. Steed, M. Slater, F. P. Brooks. "Walking, Walking-in-Place, Flying, in Virtual Environments" (junio de 1999)
- [22] T. Ori. "Video games designed as physical interactive objects" médium.com. Accedido: agosto de 2022. [Online] Disponible: <https://medium.com/digital-udon-a-few-words/video-games-designed-as-physical-interactive-objects-41898be78170>
- [23] Logitech. "Volante de carreras TRUEFORCE para Xbox, PlayStation y PC" logitechg.com. Accedido: agosto de 2022. [Online] Disponible: <https://www.logitechg.com/es-es/products/driving/g923-trueforce-sim-racing-wheel.html>
- [24] Amazon. "VR Entertainment VR Real Feel Pesca Funda para gaming" amazon.com. Accedido: agosto de 2022. [Online] Disponible: <https://www.amazon.com/-/es/Entertainment-Real-Pesca-Funda-gaming/dp/B073PMFR3F>
- [25] J. Leitner, C. Hochleitner y M. Haller. "Bridging the gap between real and virtual objects for tabletop games" (enero de 2008)
- [26] W. Burleson. "Integrating video games and robotic play in physical environments" (2008)
- [27] Redacción Futuro Eléctrico. "Realidad mixta | Definición, aplicaciones, ventajas, ejemplos" futuroelectrico.com. Accedido: agosto de 2022. [Online] Disponible: https://futuroelectrico.com/realidad-mixta/#Ventajas_y_desventajas_de_la_realidad_mixta
- [28] RealVision. "Mixed Reality – AR , VR and Holograms for the Medical Industry" realvision.ae. Accedido: agosto de 2022. [Online] Disponible: <https://realvision.ae/blog/2016/04/mixed-reality-ar-vr-holograms-medical/>

- [29] BBC News Mundo. "Cómo son las gafas HoloLens de Microsoft que el ejército de Estados Unidos usará en combate" [bbc.com](https://www.bbc.com/mundo/noticias-46426994). Accedido: agosto de 2022. [Online] Disponible: <https://www.bbc.com/mundo/noticias-46426994>
- [30] GoVRPro. "Mixed reality education" [govrpro.com](https://govrpro.com/services/mixed-reality-education). Accedido: agosto de 2022. [Online] Disponible: <https://govrpro.com/services/mixed-reality-education>
- [31] Marques. "5 beneficios clave de realidad mixta para la industria" [marquesme.com](https://www.marquesme.com/5-beneficios-clave-de-realidad-mixta-para-la-industria/). Accedido: agosto de 2022. [Online] Disponible: <https://www.marquesme.com/5-beneficios-clave-de-realidad-mixta-para-la-industria/>
- [32] Editeca. "Realidad mixta – ¿Qué es y qué oportunidades nos ofrecerá?" [editeca.com](https://editeca.com/realidad-mixta/). Accedido: agosto de 2022. [Online] Disponible: <https://editeca.com/realidad-mixta/>
- [33] A. Carrasco. "¿Qué es un motor de videojuegos?" [blogs.upm.es](https://blogs.upm.es/observatoriogate/2018/07/04/que-es-un-motor-de-videojuegos/). Accedido: agosto de 2022. [Online] Disponible: <https://blogs.upm.es/observatoriogate/2018/07/04/que-es-un-motor-de-videojuegos/>
- [34] "Motor de juego" [gamerdic.es](https://www.gamerdic.es/termino/motor-de-juego). Accedido: agosto de 2022. [Online] Disponible: <https://www.gamerdic.es/termino/motor-de-juego>
- [35] Unity Technologies. "La plataforma de creación de contenido en tiempo real líder en el mundo" [unity.com](https://unity.com/es). Accedido: agosto de 2022. [Online] Disponible: <https://unity.com/es>
- [36] Unreal Engine. "The world's most open and advanced real-time 3D creation tool" [unrealengine.com](https://www.unrealengine.com/en-US). Accedido: agosto de 2022. [Online] Disponible: <https://www.unrealengine.com/en-US>
- [37] Super Mario 64. [Nintendo 64]. Japón: Nintendo, 1996.
- [38] Ley Orgánica 3/2018, de 5 de diciembre, de Protección de Datos Personales y garantía de los derechos digitales. BOE-A-2018-16673.
- [39] Real Decreto Legislativo 1/1996, de 12 de abril, por el que se aprueba el texto refundido de la Ley de Propiedad Intelectual, regularizando, aclarando y armonizando las disposiciones legales vigentes sobre la materia. BOE-A-1996-8930.
- [40] Unity Technologies. "Elige el plan adecuado para ti" [store.unity.com](https://store.unity.com/es/compare-plans). Accedido: agosto de 2022. [Online] Disponible: <https://store.unity.com/es/compare-plans>
- [41] Freesound. "Welcome to Freesound" freesound.org. Accedido: agosto de 2018. [Online] Disponible: <https://freesound.org/>
- [42] Mixkit. "Free assets for your next video Project" mixkit.co. Accedido: agosto de 2018. [Online] Disponible: <https://mixkit.co/>
- [43] Unity Technologies. "Community-powered creator solutions" assetstore.unity.com. Accedido: agosto de 2022. [Online] Disponible: <https://assetstore.unity.com/>

[44] Glassdoor. glassdoor.es. Accedido: agosto de 2022. [Online] Disponible: <https://www.glassdoor.es/index.htm>

Anexo: Glosario de términos

- **Script:** documento que contiene fragmentos de código.
- **Software:** conjunto de programas o aplicaciones de un equipo o sistema informático.
- **Hardware:** conjunto de elementos físicos de un equipo o sistema informático.
- **PC:** computadora personal.
- **3D:** tres dimensiones.
- **2D:** dos dimensiones.
- **VR:** realidad virtual.
- **AAA:** término utilizado en la industria del videojuego para referirse a videojuegos producidos o distribuidos por una gran compañía.
- **PERT:** Program Evaluation and Review Technique.
- **USB:** Universal Serial Bus.

Development of a mixed-reality videogame

Introduction

Virtual, mixed and augmented environments have been steadily increasing in popularity in the last few years, showing a large grow in the number of users that use these technologies and the applications that have been brought. In particular, the videogame industry is expected to increase to 2.4 billion dollars the benefits obtained by 2024, compared to the 0.9 billion dollars obtained in 2019 [1].

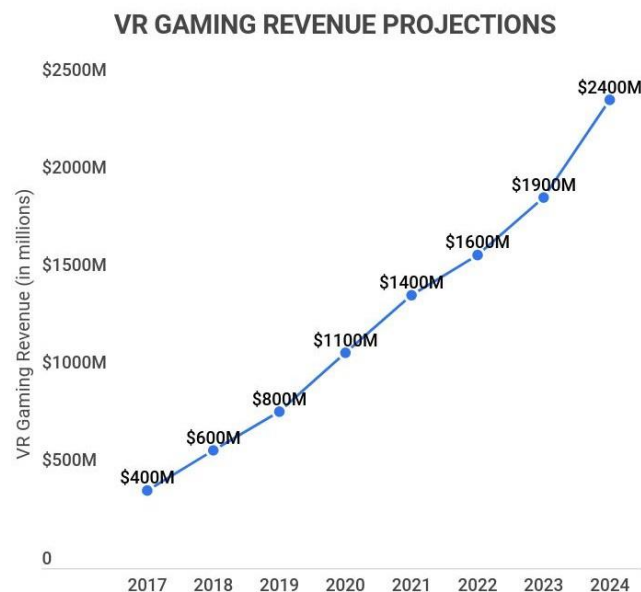


Figure 1. Evolution of benefits obtained in the VR videogame industry [1].

In the same way, the number of users that use these technologies has been raising. In 2017, there were 22 million VR users in United States, which increased to 50.2 million by 2020, with just three years' difference. It is expected to keep growing to 70 million users by 2023. In the other hand, the number of users of augmented reality is even bigger, with 83.7 million just in United States [1].

Motivations

Having in mind this context and the great variety of possibilities that these technologies offer, there has been many reasons to choose the development of this project.

In the first place, the challenge that it entails. Throughout the 5 years of the degree, there has been very few allusions to the concepts of virtual, augmented and mixed reality, but enough of them to awake the interest in this topic. Furthermore, the developing of the mixed reality application implied to learn how to use Unity, being a great opportunity to acquire this knowledge.

Another reason for choosing this project has been that these technologies are not yet totally matured, bringing the possibility to offer personal knowledge through this project to this field of research.

The last reason consisted in the utility that this project could provide to the videogame industry, being able to increase the immersive experiences of the players and

providing easier learning techniques of the game concepts and controls, resulting in a great opportunity for checking these technologies' advantages.

Objectives

For all the foregoing reasons, before starting the development of the application, some objectives were defined:

- **Development of a mixed reality videogame:** the main objective of the project consisted in developing an immersive videogame that would allow the user movement real-time tracking using a virtual reality headset and position trackers linked to physical objects.
- **Player's motion capture:** one of the most important objectives defined for the proper operation of the videogame consisted in tracking the player's movement or, in other words, tracking the player's position and orientation through time. The tracked information needed to be transferred in real-time to the application to obtain a true immersive experience and an effective interaction.
- **Interactivity with virtual element using physical objects:** keeping in mind that the videogame required not using any kind of controller to obtain an immersive experience, the player would use physical object that would let them interact with the virtual elements. Each physical object is tied to a virtual object that represents a tool, and each tool brings a different functionality for the player, which can be used through real life, natural actions. The tracking of the physical objects' position and orientation is captured using position trackers.
- **Visual help:** the last objective consists in implementing representation of the player that interact with the virtual information, letting the user acquire knowledge about the game and teaching them how to complete the levels and use the virtual tools using vicarious learning.

Design decisions

After taking into account which were the application's objectives, some decisions were taken over its design:

- **Overall aspect of the game:** the theme of the videogame consists in escaping from the interior of a volcano that has started the eruption process. The reason for choosing this theme was to give the player a risk sensation, due to the lava level getting closer to the player in every level of the play mode.
- **General design and level distribution:** the videogame consist of the main lobby, from which the player can access two different modes: the tutorial and the play mode. The tutorial lets the player learn the basics of the videogame watching a representation of a player that completes the level on an autonomous way, through vicarious learning. The play mode gives the player access to the three different levels that were implemented, each one requiring the use of different tools for its completion. The lobby also gives

access to a brief panel of basic instructions if the player doesn't want to enter the tutorial before starting to play.

- **Player's movement:** the first implementation of the player's movement was design to move the camera the same distance that the user moved in the real world. This idea limited on a great way the design of the videogame due to the small size of the physical tracking floor used to pinpoint the player's position. Because of this, another implementation of the player's movement was made, one based on scaling. This movement technique worked the same way as before, but allowed to increase the size of the virtual scenery, transforming the real life travelled distance into a greater one in the virtual world.
- **Balance points:** the first thoughts about how to control the player not walking outside the pillars consisted in letting the camera fall to the lava floor. This idea was discarded because it could cause great issues to the player's health and wellbeing. Instead, the balance points where implemented. This allowed the player to walk in the air, but for each second that they would spend there the balance points would keep decreasing. If this points reached 0, the level would be restarted, controlling effectively the capacity for the player to get out of the walkable road to the finishing line.
- **Ghosts:** due the interest in incorporating an element that represented the player and that would interact with the virtual information, ghosts where created. There were implemented two types of ghosts:

The first one would be used in the tutorial. This entity would complete the tutorial mode using a predefined action route, letting the player learn the basics of the videogame and how to control and interact with the different elements through vicarious learning.

The second one would be used in the levels of the play mode. This ghost works on a similar way to the first one, but it only appears when the player loses a level and is restarted. When the same level is loaded again, the ghost materialises performing the same actions and traveling the same route that the player did in the previous walkthrough, letting them know the mistakes that possibly were made and improving their performance in the actual walkthrough.

- **Tools:** the mixed reality interaction is reflected using the virtual tools. This tools are associated with real life objects that would be used on a natural way for the player. The incorporated tools tried to bring and immersive experience, being objects that could be used in the situation presented by the videogame.
- **Visual and auditory helps:** trying to bring the videogame for different types of players, some visual and auditory helps where added. In general, the game revolves around using the sight for completing it, but one of the tools used auditory signals. For that reason, the sound sensor was implemented with visual helps in the form of lightning particles to help player's affected with hearing impairment.

There were also added auditory helps, that would help players with small degrees of visual disability and, in general, orienting the overall players to the right track.

Game objects

Taking into account the design decisions and the functionalities defined in the design and analysis sections, there were developed different virtual components, each one with their own particularities and appearance:

- **Player's camera:** this component is responsible for letting the player see the virtual world using the virtual reality headset. Because of the scaling, the camera's position varies according to the headset's real position that is represented on another virtual object called "Headquest object". This will only affect the player camera's position, not the orientation.

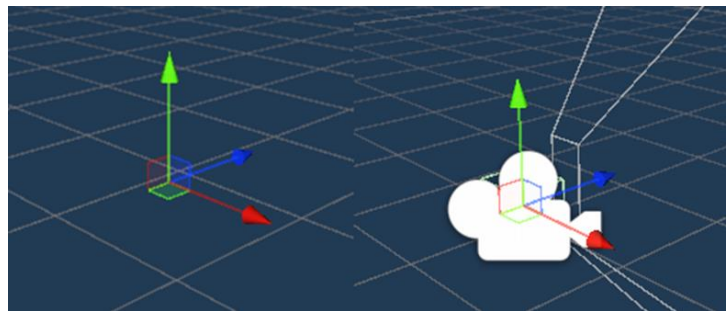


Figure 2. Player's camera and "headquest object".

- **Key:** the key works on a similar way to the player's camera and the physical virtual reality headset, because the virtual tools, in which the key is included, need to pinpoint their real world object counterpart to get the position and orientation from. This similarity creates the need to generate another invisible object like the "Headquest object" that represent the real position of the key's real counterpart.

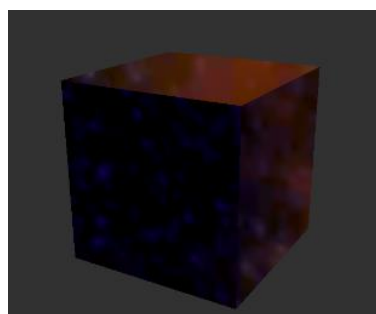


Figure 3. Key.

The key is a small object with a cubic appearance, similar to the physical box that is used to represent it.

- **Lantern:** this object lets the player light their surroundings. In a similar way to the other tools, it's associated to a real world object from which represents its position. This object is composed of 4 smaller models, consisting of the metallic piece, the glass, the candle and the flame, and 2 lighting elements offered by Unity.

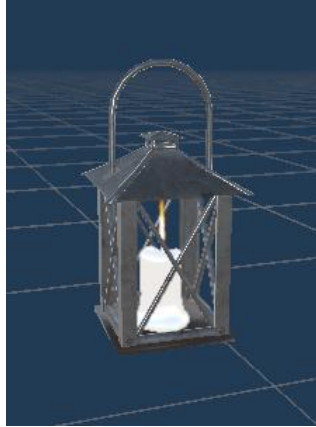


Figure 4. Lantern model.

The first lighting element it's called spotlight. Its emission is generated on a certain point of the space, but it's limited by a certain angle that directs the light to the floor which the player uses to move through the scene.

The second lighting element it's called point light. Similarly, the same way that happens with the spotlight, its emission is started on a certain point of the space, but this element is not limited by an angle, redirecting the light in every direction. This lighting is used to bring a more aesthetic effect to the lantern.

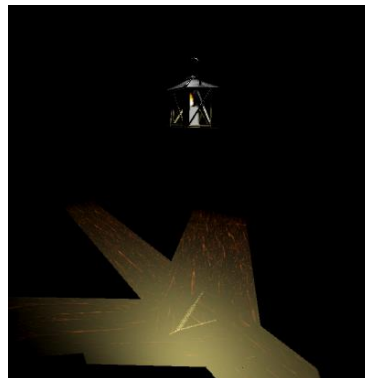


Figure 5. Lit lantern in the play mode.

- **Sound sensor:** this tool consists on a small device that lets the player know the distance between them and the finishing line using auditory and visual helps. Due to this, it's essential for the player to carry this tool with them throughout all the level. The sound emitted from the sound sensor increase or decrease their frequency depending on the distance that separates it from the finishing line. The particles emitted from the antenna of the device work on a similar way.



Figure 6. Active sound sensor in the play mode.

- **Hammer:** the last tool used to complete the levels, with a relative small size, it's used to interact with the cracked pillars. The hammer head hides a cylinder responsible of detecting the cracked pillars when collided, producing this interaction.

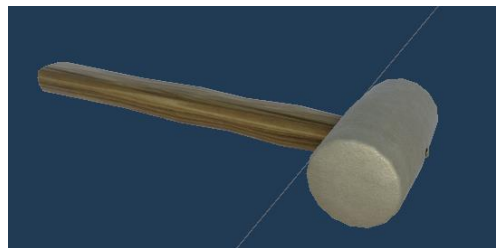


Figure 7. Hammer.

- **Lava floor:** this element consists on a plane that covers all the scene and apart from restarting the level when it collides with the player, it also offers an aesthetic purpose, bringing to life the sensation of being inside a volcano.

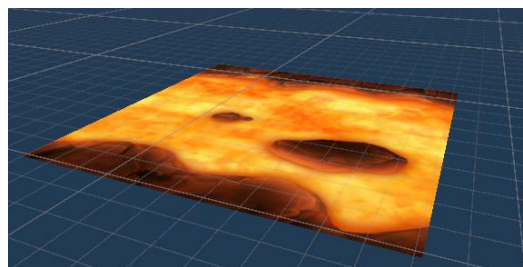


Figure 8. Lava floor.

Due to the square shape of the lava floor, it has been surrounded by decorative elements representing rocks that are also used to increase the immersive experience.

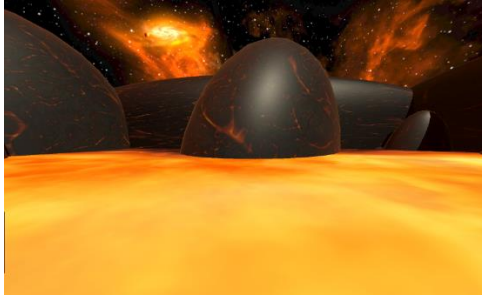


Figure 9. Lava floor along with the levels decorative elements.

- **Altars:** cylindrical shaped object that act as a system that unlocks the different doors and bridges spread through the scene. These altars are activated when the key held by the player is collided with them.



Figure 10. Altar.

- **Doors and bridges:** the doors are rectangular shaped elements that block the finishing line from the player. They are linked with an animation that is activated once the player collides the key to the corresponding altar. This animation slides the door element, unlocking the way for the player.

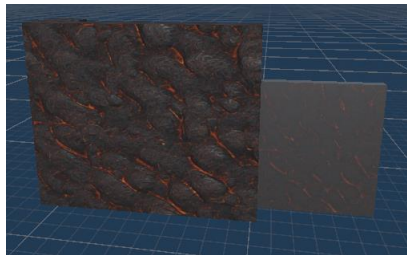


Figure 11. Door.

On the other hand, there are also the rectangular shaped elements called bridges. These element looks similar to the pillars that the player uses to move through the scene and they also have a linked animation that raises them so that the player can access other locations of the scene. This animation is also activated when the player collides the key element with the corresponding altar.

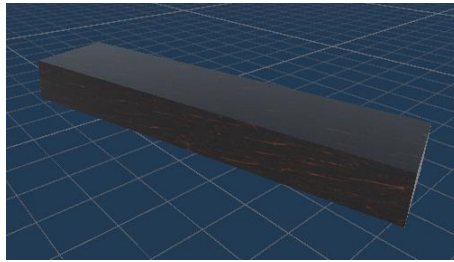


Figure 12. Bridge.

- **Pillars:** these elements are the ones that let the player move through the scene without losing balance points.



Figure 13. Normal pillar.

In the second level of the game some altered pillars are shown. These elements are called cracked pillars and are differentiated from the regular ones by their slightly clearer texture. These pillars can be repaired and transformed into regular pillars colliding the hammer three times against them. If the player crosses over one of these cracked pillars, it will break, leaving the player losing balance points.



Figure 14. Cracked pillar.

- **Finishing line:** the finishing line is an invisible cube shaped element that detects if there is a player inside it. This element will always be positioned above a square pillar that will serve the purpose of helping the player detect where the finishing line is.

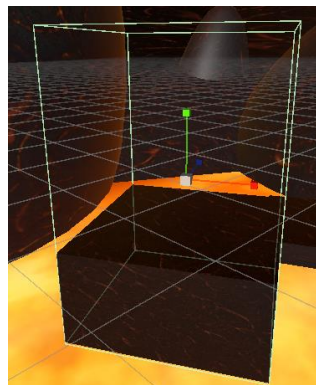


Figure 15. Finishing line.

- **Ghost:** the ghost is the element used to represent the player in the play mode and the tutorial. It has a humanoid appearance, with the particularity of being semi-transparent. In the play mode, the ghost will be shown only if the actual level is restarted. If the player advances to the next level, it will disappear again.



Figure 16. Ghost.

- **Balance bar:** this UI element represents the balance points that the player still has. At the start of the level, the player will have 100 balance points, that will start decreasing as soon as they don't walk above the pillars or the bridges.



Figure 17. Balance bar.

- **Safety limits:** the safety limits consist of 4 rectangular shaped walls that surround the area through which the player can move. The walls will be invisible at the start of the game, and will turn visible when the player reaches the limits of the playground, keeping them safe from walking out of the real world playground limits. When the player puts some distance between them and those limits, the wall will again turn invisible.

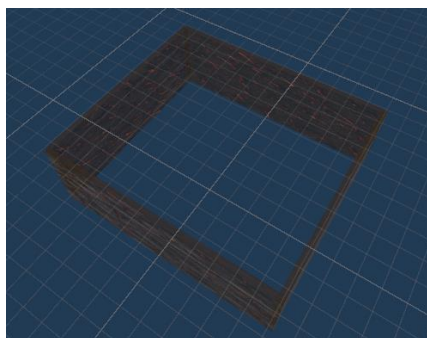


Figure 18. Safety limits.

Tests

At the end of the implementation of every feature, element and, in general, the videogame, the testing of the correct functioning of the application was performed. This testing consisted of individual tests for every functional and non-functional requirement defined in the analysis section. These tests confirmed the correct implementation and development of the defined requirements, validating them. Thus, no redesign of these requirements had to be made.

Socio-economic environment

Between the impacts that this project could bring to the society, when can find:

- **Bringing players of more varied age ranges to the mixed reality videogame community:** the controls of the videogame are based in real life actions like using a hammer and lighting a dark area using a lantern. Those action concepts are known by most of the people who could have access to this videogame, facilitating the learning of the videogame controls not just for the usual player's age range, but also for the more aged people that is not used to playing or trying videogame. This could increase the age range of the players that play mixed reality games.
- **Avoiding sedentary lifestyles:** because the videogame requires the users' physical movement for completing the different levels or reaching a certain position of the scenery, the use of this application could help the people to exercise while playing the videogame.
- **A better reception of the videogame:** due to the tutorial that is incorporated in the videogame, the user could improve their first reactions to the application. This is because the tutorial implements a representation of the player that completes the level without the help of the player, using the same tools and actions that a generic user would use, letting the players learn all these techniques and controls through vicarious learning and thus, improving their reception of the game and even influence them to try other mixed reality experiences.

On the other hand, there are also economic impacts that this project could bring:

- **Escape room simulations:** this videogame could be considered an escape room like application, due to the similarities between these two experiences. Because of this, it could influence the economy of the escape room industry and their owners positively if they incorporated this videogame, attracting new clients that would like to try mixed reality experiences.
- **Elevated price:** there are also negative approaches to this project respecting its personal use. If somebody would like to acquire every necessary component for playing this game, they would be facing a big investment, due to the elevated price of the position trackers and the virtual reality headset. This fact would influence negatively in the personal economy of the player getting this videogame for personal use.

Nevertheless, even though the above negative aspect of the videogame, there are some applications that could be used for positively influencing the economy of other industries and corporations:

Use of the player's representation in employee training: the functionality of the representation of the player that interacts with the virtual information could be used in other types of mixed reality experiences directed to help in the employee training. This representation or "ghost" could let the users or employees learn how to use different types of software, mechanic systems, etc. using vicarious learning. This could bring a faster and more efficient approach to the employee's formation in different corporations and industries, reducing the cost of those.

Conclusions

At the end of the development of the project, the reached conclusion where analysed. In the first place, every defined objective was reached. The mixed reality based videogame was correctly developed, tracking the player's movement through the use of position trackers, which were also used for the purpose of tracking the physical objects linked to the virtual tools. Furthermore, the representations of the player that interact with the virtual information were also implemented, in the form of ghosts, as shown in the game objects section.

One of the most useful knowledge acquired while developing this project was to learn how to use Unity and the C# programming language, in addition to learning to create tradition, virtual and mixed reality based videogames.

Moreover, it has also served the purpose of showing the difficulty of developing a software project and creating a helpful planning that helped to manage the time needed to complete each section of the project and the document.

Lastly, this project showed the wide range of opportunities that the mixed reality provides for developing useful and meaningful applications for the people to use, mainly in the immersive experiences for the videogame industry and the employee or user training using representations of people that interact with different components of the virtual world.