



ugr | Universidad
de Granada

TRABAJO FIN DE MÁSTER

INGENIERÍA INFORMÁTICA

Técnicas de desplazamiento en un sistema de Realidad Virtual

Autor

Adrián de la Torre Rodríguez

Director

Francisco Luis Gutiérrez Vela



Departamento de
Lenguajes y Sistemas
Informáticos



Escuela Técnica Superior de Ingenierías Informática y de
Telecomunicación

—
Granada, septiembre de 2019

Técnicas de desplazamiento en un sistema de Realidad Virtual

Adrián de la Torre Rodríguez

Palabras clave: Realidad virtual, desplazamiento, interacción, experiencia de usuario.

Resumen

El objetivo del proyecto es implementar un entorno virtual de prueba en el que se puedan evaluar diferentes técnicas de movimiento por el mundo virtual para probar aspectos como son el grado de mareo que proporciona, la efectividad en el movimiento, el grado de satisfacción por parte de los usuarios o la velocidad y maniobrabilidad de la técnica. El entorno de prueba consiste en una “gymkhana virtual” en la que el usuario tiene que moverse por un escenario y hacer algunas pruebas en el mundo virtual y sobre las que se hacen medidas del tipo, tiempo usado, velocidad, número de intentos y precisión. La gymkhana consta de tres pruebas con diferentes características. La primera prueba consiste en recorrer la gymkhana simplemente, sin más acciones y se cronometra el tiempo tardado en cada fase. La segunda prueba consiste en alcanzar distintos puntos de la gymkhana haciendo uso de un mapa y se cronometra el tiempo tardado en encontrar cada punto. La última prueba consiste en recorrer la gymkhana de nuevo pero realizando algunas tareas de interacción.

Una vez implementado el entorno virtual de pruebas se han realizado un conjunto de test con usuarios reales y un kit de realidad virtual y se han evaluado cada una de las técnicas de movimiento implementadas. Se han realizado dos cuestionarios, uno para medir la experiencia de usuario y otro para comparar las técnicas de movimiento realizadas por el usuario.

Finalmente se han analizado los datos obtenidos y se han sacado conclusiones sobre los métodos de desplazamiento analizados; el que ha causado mejor y peor experiencia de usuario, el más rápido y el más lento, el más preciso y el menos preciso, etc.

Locomotion techniques in a virtual reality system

Adrián de la Torre Rodríguez

Keywords: Virtual reality, locomotion, interaction, user experience.

The objective of the project is to implement a virtual test environment in which different movement techniques can be evaluated through the virtual world to test aspects such as the degree of motion sickness that it provides, the effectiveness in the movement, the degree of satisfaction of the users or the speed and maneuverability of the technique. The test environment consists of a “virtual gymkhana” in which the user has to move around a stage and do some tests in the virtual world and on which measurements will be made such as time used, speed, number of attempts and precision. The gymkhana consists of three tests with different characteristics. The first test is to go through the gymkhana, without further action and the time taken in each phase is timed. The second test consists of reaching different points of the gymkhana using a map and the time taken to find each point is timed. The last test is to go through the gymkhana again but doing some interaction tasks.

Once the virtual test environment has been implemented, a set of tests with real users and a virtual reality kit have been carried out and each of the movement techniques implemented has been evaluated. Two questionnaires have been made, one to measure the user experience and another to compare the movement techniques performed by the user.

Finally, the data obtained have been analyzed and conclusions have been drawn about the methods of movement analyzed; the one that has caused the best and worst user experience, the fastest and the slowest, the most accurate and the least accurate, etc.

Yo, **Adrián de la Torre Rodríguez**, alumno de la titulación del Máster Profesional en Ingeniería Informática de la **Escuela Técnica Superior de Ingenierías Informática y de Telecomunicación de la Universidad de Granada**, con DNI 75579747E, autorizo la ubicación de la siguiente copia de mi Trabajo de Fin de Máster en la biblioteca del centro para que pueda ser consultada por las personas que lo deseen.

Fdo: Adrián de la Torre Rodríguez

Granada a 5 de Septiembre de 2019.

D. Francisco Luis Gutiérrez Vela, Profesor del Departamento de Lenguajes y Sistemas Informáticos de la Universidad de Granada.

Informa:

Que el presente trabajo, titulado **Técnicas de desplazamiento en un sistema de Realidad Virtual**, ha sido realizado bajo su supervisión por **Adrián de la Torre Rodríguez**, y autorizo la defensa de dicho trabajo ante el tribunal que corresponda.

Y para que conste, expide y firma el presente informe en Granada a 5 de septiembre de 2019.

El director:

Índice

1. Introducción.....	8
1.1 Motivación.....	8
1.2. Objetivo.....	9
2. Estado del Arte.....	11
2.1. Realidad Virtual.....	11
2.2. Antecedentes teóricos.....	16
2.3. Navegación.....	20
3. Análisis inicial del problema.....	26
3.1 Problemas de la RV.....	26
3.2. Aproximación del problema.....	27
3.3. Métodos de desplazamiento e interacción.....	28
4. Tecnología a usar.....	30
4.1. Hardware.....	30
4.1.1. Kit de realidad virtual.....	30
4.1.2. Ordenador.....	34
4.2. Software.....	35
4.2.1. Sistema operativo.....	35
4.2.2. Blender.....	35
4.2.3. Steam y Steam VR.....	36
4.2.4. Unity.....	38
4.2.5. Visual Studio.....	38
4.2.6. VRTK.....	39
4.2.7. Entorno de desarrollo usado.....	43
5. Metodologías a usar en el proyecto.....	45
5.1. Metodologías ágiles.....	45
5.2. Diseño centrado en el usuario.....	46
5.3. Control de versiones.....	46
6. Plan de entregas.....	48
6.1. Historias de usuario.....	48
6.2. Plan de entregas.....	49
7. Desarrollo.....	51
7.1. Entrega 1: Diseño del circuito.....	51
7.1.1. Fases de la gymkhana.....	53
7.1.2. Bocetos 3D.....	54
7.2. Entrega 2: Implementación del circuito de velocidad en Unity.....	57
7.3. Entrega 3: Implementación del circuito de interacción en Unity.....	70
7.4. Entrega 4: Implementación del circuito de presencia en Unity.....	79
7.5. Entrega 5: Creación de cuestionarios.....	90
7.6. Entrega 6: Pruebas con usuarios.....	94
7.7. Entrega 7: Conclusiones.....	95
8. Conclusiones.....	109
9. Trabajo futuro.....	110
10. Bibliografía.....	113
Anexos.....	115

Manifiesto ágil.....	115
Tabla de ponderaciones de propiedades de la RV.....	116
Tabla de ponderaciones de los problemas de la RV.....	118
Cuestionarios de los usuarios.....	120
Prueba 1.....	120
Prueba 2.....	123
Prueba 3.....	127
Prueba 4.....	131
Prueba 5.....	135
Prueba 6.....	139
Prueba 7.....	143
Prueba 8.....	147
Matrices de tiempos.....	151
Ubicación del proyecto y manual de usuario.....	152

1. Introducción

1.1 Motivación

La realidad virtual se encuentra en su momento más álgido desde su aparición. Su estrecha ligadura con los videojuegos ha ocasionado una carrera por investigar y desarrollar distintos métodos de desplazamiento en entornos virtuales debido a que esto es un aspecto esencial para la exploración inmersiva

Facebook lanzó el primer Oculus Rift en 2016, junto con la promesa de que la Realidad Virtual (RV) no sólo redefiniría radicalmente el entretenimiento, sino también la forma en que compartimos contenido, aprendemos y nos comunicamos. En 2017, el CEO de Facebook Mark Zuckerberg declaró que el objetivo de su empresa era que un billón de personas eventualmente usaran VR y que para 2019, 171 millones de personas usarán RV en todo el mundo [1].



Figura 1.1.1: Headset del kit de realidad virtual de Oculus Rift

Como toda nueva tecnología, la realidad virtual presenta una serie de problemas relacionados con su uso y la salud de los usuarios. La mayoría de estos problemas, como por ejemplo o fatiga física u ocular, aparecen cuando se hacen uso de técnicas de locomoción en entornos virtuales [2].

Por lo tanto es vital para la realidad virtual investigar sobre los distintos métodos de desplazamiento en entornos virtuales, así como su usabilidad y cómo afectan a la salud y la experiencia de usuario.

1.2. Objetivo

El objetivo de este proyecto es crear un entorno virtual donde poder realizar pruebas con usuarios y dispositivos de realidad virtual con el objetivo de ver cómo afectan distintos métodos de desplazamiento en la experiencia de usuario y en el desempeño de otras tareas en la realidad virtual.

El primer paso es investigar cuáles son los métodos de desplazamiento más comunes en la realidad virtual, realizar una selección para incluirlos en el estudio. Posteriormente hay que diseñar un entorno virtual (en nuestro caso una gymkhana o circuito) la cual incluya los elementos más comunes en entornos virtuales para que sea lo más parecida a casos reales. La gymkhana también deberá incluir tareas que tendrán que hacer los usuarios para poder comprobar cómo son afectadas por los distintos métodos de desplazamiento

Una vez diseñado el entorno virtual hay que implementarlo haciendo uso de un motor de videojuegos y una librería para poder usar kits de realidad virtual. En la gymkhana deberá ser posible elegir los distintos métodos de desplazamiento así como las pruebas a realizar o las ayudas necesarias. Todo el entorno virtual ha de ser usable y amigable para usuarios no expertos en realidad virtual o tecnologías.

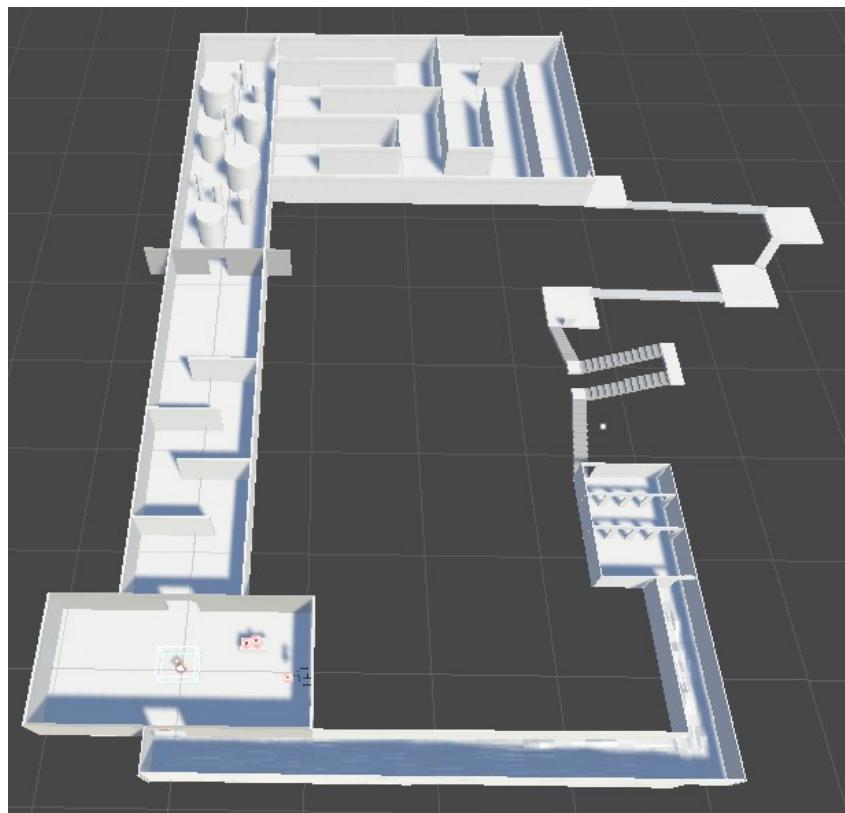


Figura 1.2.1: Circuito para pruebas en realidad virtual.

Por último se realizarán pruebas con usuarios reales los cuales realizarán distintas tareas haciendo uso de distintos métodos de desplazamiento. Se obtendrá un feedback de los usuarios mediante cuestionarios. Con los datos obtenidos se intentará realizar una clasificación de métodos de desplazamiento y sacar conclusiones de los problemas y ventajas que tienen cada uno.

2. Estado del Arte

En este apartado se exponen los antecedentes teóricos, tecnologías y sistemas similares al proyecto que se ha desarrollado. Finalmente se hará un análisis de mercado donde se mostrarán las distintas técnicas actuales de desplazamiento en realidad virtual y se hará una conclusión.

2.1. Realidad Virtual

La realidad virtual (RV) es el uso de la tecnología informática para crear un entorno simulado. A diferencia de las interfaces de usuario tradicionales, la realidad virtual coloca al usuario dentro de una experiencia. En lugar de ver una pantalla frente a ellos, los usuarios están inmersos y pueden interactuar con mundos 3D. Al simular tantos sentidos como sea posible, como la visión, el oído, el tacto, incluso el olfato, la computadora se transforma en un intermediario de este mundo artificial. [3]

Generalmente la realidad se usa para videojuegos, animación 3D, arte en 2D y 3D [4].



Figura 2.1.1: Ilustración hecha por VR de Wesley Allsbrook



Figura 2.1.2: Artista de RV trabajando en un modelo 3D



Figura 2.1.3: Animador actuando con un kit de RV para animar un personaje virtual

Actualmente la realidad virtual se genera haciendo uso de los llamados kits de realidad virtual. Estos kits consisten en unas gafas estereoscópicas que permiten que el usuario vea un entorno 3D. También cuentan con unos controladores y una serie de sensores para trasladar la posición y movimientos del usuario en el entorno virtual. A continuación se muestra una tabla comparativa de algunos kits de realidad virtual [5].

Specs	Oculus Quest	HTC Vive	Oculus Rift	PSVR	Samsung Odyssey	HTC Vive Pro	Lenovo Explorer
Max Field of View	100°	110°	110°	110°	110°	110°	110°
Max Resolution	2560 x 1440	2160x1200 (1080x1200 per eye)	2160x1200 (1080x1200 per eye)	1920x1080 (960 x 1080 per eye)	2880 x 1600 (1440 x 1600 per eye)	2880 x 1600 (1440 x 1600 per eye)	2880 x 1440 (1440 x 1600 per eye)
Screen Type	OLED	Dual AMOLED	Dual AMOLED	AMOLED	AMOLED	Dual AMOLED	LCD
Pixel Density	538ppi	461ppi	456ppi	386ppi	615ppi	615ppi	706ppi
Sensors	Accelerometer, gyroscope, External Cameras	Accelerometer, gyroscope	Accelerometer, gyroscope, magnetometer	Accelerometer, gyroscope	6-Axis ACC & Gyro, 3-Axis Compass, Proximity sensor, IPD Sensor	SteamVR Tracking, G-sensor, gyroscope, proximity, IPD sensor	Proximity, Gyroscope, Accelerometer, Magnetometer
Max Refresh Rate	72Hz	90Hz	90Hz	90Hz, 120Hz	90Hz	90Hz	90 Hz
Tracking	6DOF Inside Out Tracking (wireless)	6 DOF IR Laser-based 360-degree tracking using "Lighthouse"	6 DOF Constellation camera optical 360-degree IR LED tracking	6 DOF PlayStation Camera optical 360-degree LED tracking	2 x 6 DOF camera	-	2 x Inside-out motion tracking cameras

	Base Station s						
Weight	570g	563g	470g	610g	644g	–	380g
Extra Requirements	None	PC with VR ready specs	PC with VR ready specs	Playstation 4	WMR Compatible PC	PC with advanced VR ready specs	WMR Compatible PC

Figura 2.1.4: Tabla comparativa de kits de realidad virtual

Un aspecto importante de la realidad virtual es el seguimiento del usuario, se puede hacer de distintas maneras pero la más habitual son cámaras o sensores. Por ejemplo en la figura 2.1.5 el seguimiento se hace por la cámara que aparece la cual detecta las bolas naranja y rosa y las luces azules del headset. En otros kits los sensores o cámaras se encuentran en el propio visor y este detecta la luz infrarroja emitida por los mandos (figuras 2.1.6 y 2.1.7).

En todos los casos el seguimiento del cuerpo consiste en detectar ciertos puntos del hardware que usa el usuario mediante sensores y medira la distancia y orientación entre ellos para poder ser traducida a una posición en el mundo virtual. Una vez calculada la posición y orientación del usuario se puede renderizar la respuesta como por ejemplo la imagen para los ojos o alguna respuesta táctil en los controladores.



Figura 2.1.5: PSVR



Figura 2.1.6: Lenovo Explorer



Figura 2.1.7: Samsung Odyssey

2.2. Antecedentes teóricos

Para entender los distintos métodos de desplazamiento en realidad virtual es necesario tener un conocimiento previo sobre interacción con espacios virtuales, clasificación de métodos de interacción 3D y una clasificación de métodos de navegación en realidad virtual.

Las técnicas de interacción son métodos usados para completar una determinada tarea a través de una interfaz la cual incluye componentes hardware y software [6]. Esto quiere decir que para realizar una tarea en un espacio virtual es necesario realizar cambios o transformaciones en este y los elementos que contiene haciendo uso de los elementos hardware que son interpretados y virtualizados por los elementos software. Un ejemplo de interacción sería seleccionar un ícono de un escritorio de ordenador; el elemento hardware sería el ratón el cual se interpreta su desplazamiento relativo y las pulsaciones de sus botones.

La navegación por espacios virtuales incluyendo el uso de la realidad virtual no es más que otro método de interacción con el espacio 3D. El cambio realizado en el espacio es la propia posición del observador y los elementos hardware usados para esta tarea pueden ser muy variados.

Las técnicas de interacción, como se ha explicado, implican cambios en un espacio virtual. Estos cambios se pueden clasificar en distintos tipos y, por lo tanto, las técnicas de interacción se pueden clasificar en las siguientes [6].

- **Rotación:** consiste en rotar un elemento del espacio con respecto a un punto y en uno de sus tres ejes o una combinación de ellos.

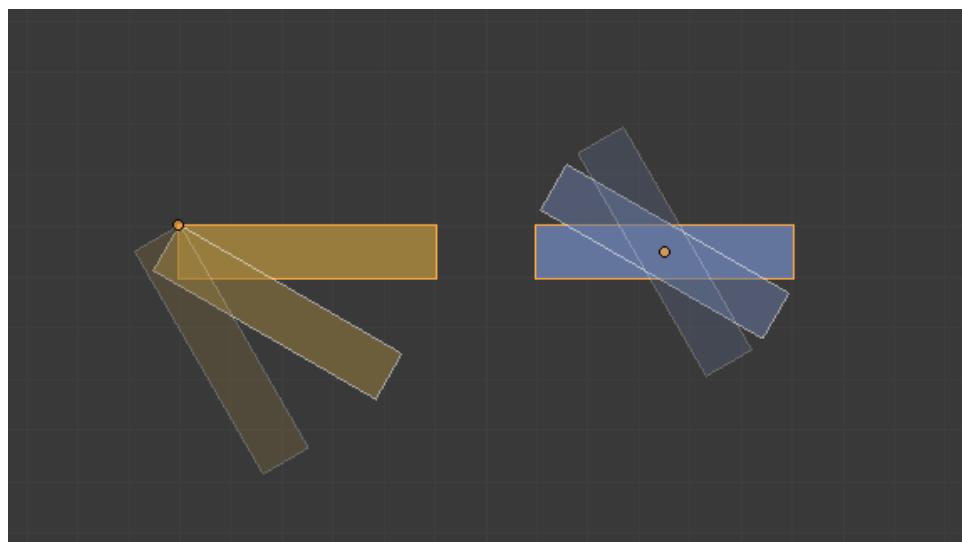


Figura 2.2.1: Rotación de objeto en distintos puntos

- **Escalado:** consiste en aumentar o disminuir el tamaño de un objeto con respecto a un punto de referencia.

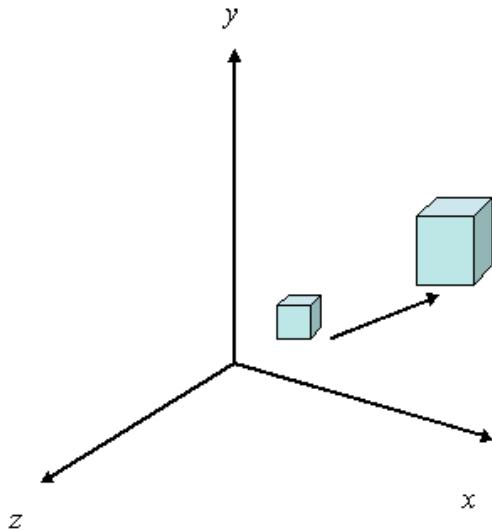


Figura 2.2.2: Escalado de un objeto

- **Traslación:** consiste en cambiar la posición de un objeto en cualquier eje del espacio. Esta técnica es la usada en la navegación en espacios virtuales 3D y, por lo tanto, la técnica que más interesa en el proyecto desarrollado.

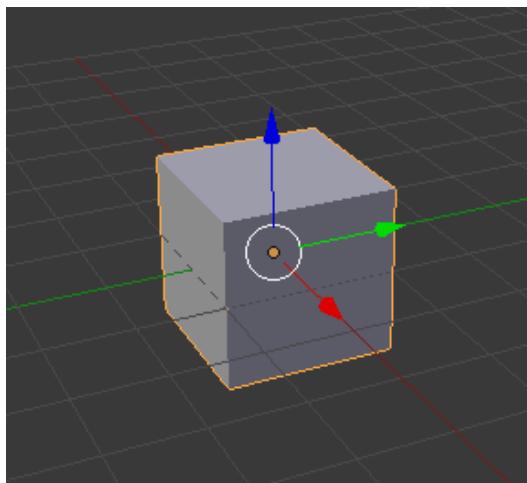


Figura 2.2.3: Traslación de un objeto en sus ejes

Estas tres técnicas de interacción son los pilares de la interacción ya que combinándolas se pueden realizar otras interacciones más complejas. Otros autores incluyen la selección como otra técnica de interacción. La selección consiste en marcar un objeto o varios para diferenciarlo o diferenciarlos del resto y aplicarles transformaciones solo a ellos. Para que esta técnica sea efectiva es necesario que el usuario sepa, mediante un determinado *feedback*, qué objeto tiene seleccionado.

Otra clasificación de las técnicas de interacción se basa en la inmersión del usuario en el espacio virtual [7]. Se pueden dividir en dos grandes grupos:

- **Técnicas egocéntricas:** estas técnicas permiten la inmersión del usuario. Se basan en la intuición humana y no requieren pre-entrenamiento. Hay dos metáforas básicas para la manipulación egocéntrica: la mano virtual y el puntero virtual.
- **Técnicas exocéntricas:** a diferencia con el grupo anterior, estas técnicas no consiguen la inmersión total del usuario ya que les da la sensación de que no se está dentro del espacio virtual.

Ambas clases se subdividen en tres grupos:

- **Manipulación directa:** se capturan e interpretan los movimientos físicos del cuerpo humano sin la necesidad de manipular objetos físicos. En este grupo entran por ejemplo dispositivos físicos de captura de movimiento tales como guantes[8] o exoesqueletos [9]. Pese a ser dispositivos hardware no se consideran controles físicos.



Figura 2.2.4: VR Glove (izquierda) y Gypsy 7 (derecha)

- **Control físico:** Mediante el uso de dispositivos hardware se interactúa con el entorno virtual.
- **Control virtual:** Son controles que aparecen dentro del espacio virtual.

Para comprender mejor la clasificación anterior se propone como ejemplo un control físico. Un volante sería un control físico egocéntrico ya que es un dispositivo hardware que permite la inmersión del usuario. Por otro lado, un mando de una videoconsola [10] es otro control físico pero en este caso es exocéntrico porque no permite la inmersión del usuario ya que no se asemeja a nada de la realidad y, por lo tanto, no es intuitivo.

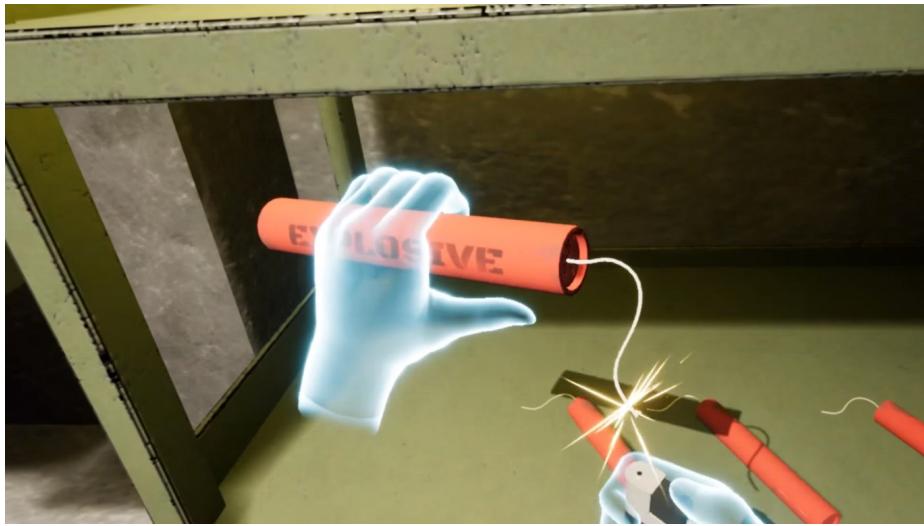


Figura 2.2.5: Controlador con forma de volante (izquierda) y controlador de Xbox (derecha)

Por último existe una clasificación aún más abstracta de los métodos de interacción en espacios virtuales [11]. Este modelo elimina de la clasificación los dispositivos físicos que se usen y se centra en si el usuario interactúa directamente con el objeto virtual o a través de otro elemento virtual:

- **Interacción directa:** el usuario puede manipular el objeto directamente sin ningún intermediario. Se considera intermediario a cualquier elemento virtual distinto a la propia virtualización del usuario. No se consideran intermediarios controladores físicos.
- **Interacción indirecta:** Se usa un intermediario en la manipulación de un objeto. Un ejemplo de interacción indirecta sería el golpeo de una pelota con un bate de béisbol. En este caso el intermediario sería el bate de béisbol.

En la siguiente imagen se muestra un ejemplo en el que aparecen ambas interacciones directa e indirecta [12]. Se realiza una interacción directa con el cartucho de dinamita al cogerlo con la mano izquierda y por otro lado se realiza una interacción indirecta con la mano derecha al encenderlo con un mechero (intermediario).



2.3. Navegación

Una vez se tiene una visión general de la interacción 3D y de sus distintas técnicas, sobre todo la de translación, el siguiente paso es analizar los distintos métodos de navegación que existen para la realidad virtual.

La navegación, si bien sigue siendo una transformación de translación, en nuestro proyecto adquiere nuevas connotaciones. La navegación consiste en la identificación de una ruta por parte del usuario y el desplazamiento de este sobre la propia ruta [13]. A continuación se muestran algunos métodos de navegación que se están usando en el mercado actualmente.

- **Navegación basada en vuelo:** el usuario se puede desplazar por el espacio virtual gracias a la simulación de que puede volar, ya sea porque va en algún avión o simplemente puede hacerlo como un pájaro. Existen numerosas maneras de realizar esta navegación, desde la más simple como es pulsar un botón y volar en la misma dirección donde se esté mirando a otra más complejas que hacen uso de hardware como la de la siguiente ilustración [14].



Figura 2.3.1: Hardware de simulación de vuelo de Owatch

- **Movimiento libre:** Muy parecida a la anterior pero sin la simulación de vuelo. El usuario puede moverse en cualquier eje del espacio a una determinada velocidad. Este método es más usado en entornos distintos a los videojuegos ya que prioriza su efectividad a la diversión.
- **Movimiento vehicular:** El usuario va dentro de un vehículo y puede realizar los movimientos propios de este. Es un método muy inmersivo ya que no requiere desplazamiento físico del usuario porque puede ir sentado. Si a esto le sumamos una interacción egocéntrica con control físico como un volante, la inmersión es prácticamente total.



Figura 2.3.2: Hardware de simulación de un vehículo

- **Navegación basada en nodos:** Existen distintas posiciones llamadas nodos en las que el usuario puede estar. El usuario solo puede desplazarse de un nodo a otro al seleccionarlo de distintas maneras. El desplazamiento entre nodos puede ir acompañado por un movimiento rápido de cámara o ser instantáneo.
- **Escalada:** Este método de navegación es muy restrictivo en cuanto a que solo se puede usar en simulaciones de escalada y es necesario dos controladores, uno para cada mano. El usuario se desplaza de igual manera que lo haría escalando: agarrándose de salientes y tirando para subir. El usuario permanece físicamente estático en el mundo real pero se mueve en la simulación mediante los gestos necesarios para escalar. En la siguiente imagen se muestra un ejemplo de navegación de escalada [15].



Figura 2.3.3: Juego The Climb

- **Teletransportación basada en arco:** Es una técnica bastante usada en el mercado. El usuario tiene un puntero del cual surge una línea en forma de arco hasta que llega al suelo, su trayectoria recuerda a la trayectoria que seguiría un objeto al ser lanzado. El usuario puede señalar gracias a ese arco a dónde se quiere teletransportar y llevar a cabo el cambio de posición. A esta técnica se le puede añadir una visión de lo que vería al realizar el teletransporte.

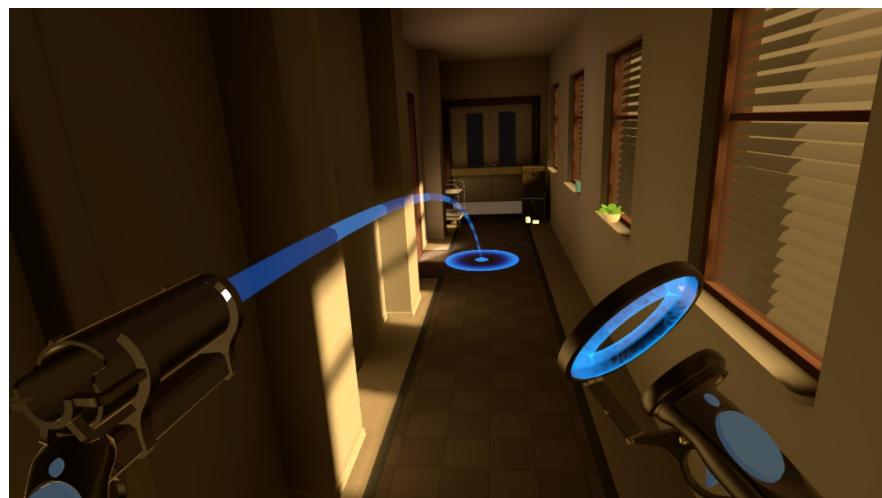


Figura 2.3.4: Ejemplo de teletransporte

- **Avatar fantasma:** Al igual que el método anterior, el usuario selecciona dónde quiere ir pero esta vez aparece una representación suya moviéndose a ese sitio y quedándose en él para mostrar al usuario del movimiento que realizará y donde estará si selecciona esa posición.



Figura 2.3.5: Ejemplo de movimiento basado en avatar fantasma

- **Parpadeo:** Para este método es necesario que se detecte cuándo el usuario parpadea. Consiste en seleccionar un punto de teletransporte y para moverse basta con parpadear. Cuenta con la ventaja de que evita el mareo ocasionado por otros métodos de navegación.
- **Raíles:** El usuario se mueve automáticamente por una ruta predefinida (raíles). Este método se usa por ejemplo en simulaciones de montañas rusas, paseos en barco u otros métodos de transporte de los cuales no se tiene el control. En la siguiente imagen se muestra un ejemplo de navegación sobre raíles [16]



Figura 2.3.6: Juego Fibrum rollercoaster

- **Inclinación del usuario:** En este método de navegación el usuario debe inclinarse en la dirección a donde quiere desplazarse. La inclinación se puede captar con los propios cascos de realidad virtual u otro hardware.



Figura 2.3.7: Hardware para medir inclinación de usuario

- **Gestos:** Este método de navegación abarca una gran variedad de gestos posibles que se pueden usar para desplazarse. Básicamente consiste en realizar gestos con el cuerpo para realizar un desplazamiento. Estos gestos pueden ser muy distintos según el contexto donde se hagan. Por ejemplo si se quiere desplazar en el agua se pueden imitar los gestos de nadar mientras que si se quiere correr por el suelo puedes correr en el sitio.
- **Usando dispositivos hardware:** Se hace uso de dispositivos hardware para capturar el movimiento del usuario y ser traducido en un desplazamiento en el espacio virtual. Hay gran variedad de dispositivos como por ejemplo el siguiente que captura los pasos que da el usuario [17].



Figura 2.3.8: Virtuix Omni

3. Análisis inicial del problema

La realidad virtual, pese a estar en su mejor momento desde su aparición, sigue teniendo una serie de problemas asociados a su usabilidad, precisión y a la salud de los usuarios. Uno de los ámbitos donde se encuentran un gran número de problemas es en la locomoción.

En esta sección se pretende dar una visión del alcance del proyecto así como los problemas existentes en la locomoción en RV y cómo se va a aproximar una solución para poder estudiar estos problemas.

3.1 Problemas de la RV

Para que los sistemas de un entorno virtual sean compatibles con sus usuarios, es vital que los diseñadores comprendan las restricciones de diseño impuestas por la fisiología sensorial y motora humana. Los problemas fisiológicos y de percepción que impactan directamente en el diseño de los sistemas del entorno virtual son la percepción visual, la percepción auditiva y la percepción háptica y kinestésica [18].

El sistema visual humano es muy sensible a cualquier anomalía en las imágenes percibidas y se vuelve prominente cuando el movimiento se introduce en una realidad virtual. En la percepción auditiva, existe un desafío para la localización de audio para obtener un entorno auditivo realista. La localización ayuda a diferenciar las fuentes de sonido y su dirección. En realidad virtual, la localización está determinada por las diferencias de intensidad y las diferencias temporales o de fase entre las señales en los oídos.

El contacto mecánico con la piel se denomina sensación táctil (tacto). Las sensaciones de la piel se adaptan con la exposición a un estímulo. La sensación disminuye en sensibilidad a un estímulo continuo y puede desaparecer por completo a largo plazo. También varía según el tipo de receptor, ya sea para adaptarse rápidamente y relacionarse con la presión, el tacto y/o el olfato. Por lo tanto, es muy importante incorporar la retroalimentación háptica en entornos virtuales. Mientras que la kinestesia es una conciencia de los movimientos y la posición relativa de las partes del cuerpo y está determinada por la velocidad y la dirección del movimiento de las extremidades. El desafío de la kinestesia en la realidad virtual incluye el hecho de que una pequeña tasa de movimiento de una articulación puede ser demasiado pequeña para la percepción y ciertos efectos kinestésicos no se comprenden bien.

Garantizar la salud y la seguridad de los usuarios son problemas importantes y desafiantes para que los sistemas de realidad virtual eviten molestias, daños o incluso lesiones. Los desarrolladores deben asegurarse de que el avance de la tecnología no sea a expensas del bienestar humano. Al experimentar la realidad virtual, el cerebro tiende a

trabajar más para integrar los estímulos inusuales que se presentan a los diferentes sentidos. Por lo tanto, la realidad virtual tiene el poder de afectar los sentidos y el cerebro de un usuario, lo que provoca fatiga, como mareos y náuseas, a diferencia de cualquier otro medio más simple. Esto se debe a los problemas de hardware, software de bajo nivel o descuido de un desarrollador de realidad virtual que ignora los efectos secundarios de la experiencia en el usuario. Los movimientos repetitivos prolongados de VR pueden provocar fatiga ya que la interferencia requiere grandes cantidades de esfuerzo muscular.

Los usuarios de RV tienen altas posibilidades de afectar sus órganos. Los HMD y otras pantallas visuales que están estrechamente relacionadas con los ojos pueden dañar los ojos del usuario por el campo electromagnético (fem) y las luces láser de los sistemas de realidad virtual si la exposición es prolongada. Incluso los ajustes deficientes de HMD pueden causar fatiga visual y la cabeza, el cuello y la columna vertebral podrían verse perjudicados por el peso o la posición de los HMD. El desequilibrio de la posición del cuerpo debido a los sistemas de realidad virtual podría hacer que el usuario se caiga o tropiece con golpes y contusiones resultantes.

El mareo de RV (VR sickness), también conocido como mareo de movimiento visualmente inducido, es una de las principales preocupaciones del uso en masa de RV y es, entre otros factores, causado por una disociación sensorial entre los sistemas visuales y el vestibular y propioceptivo. El flujo óptico es el patrón del aparente movimiento de los objetos, superficies y la escena visual. Las señales de flujo óptico de un observador estacionario que simulan la auto-traslación o auto-rotación causarán una ilusión de automovimiento llamada “vección”, la que es una causa conocida del mareo de RV. La naturaleza precisa de esta relación, en lo que respecta a la locomoción artificial, actualmente no se entiende completamente, aunque un número de estudios a encontrado que el mareo de RV es más probable de ocurrir usando técnicas de locomoción que generan vección, tales como movimientos lineares y vehiculares [19].

Es necesario combatir todos estos problemas durante el desarrollo de aplicaciones de realidad virtual ya que existen numerosas técnicas de interacción y desplazamiento que pueden ser propensas a la aparición de ellos. Todo esto dificulta el desarrollo para lograr una buena experiencia de usuario y es necesario desarrollar un método que permita analizar estos problemas en relación a las distintas técnicas de desplazamiento e interacción.

3.2. Aproximación del problema

Los problemas que vamos a abordar en este proyecto son los que se han comentado anteriormente para la locomoción. Principalmente se va a estudiar la usabilidad de algunos métodos de locomoción y cómo afectan a la experiencia de usuario.

En primer lugar hay que diseñar un entorno que permita incluir todas las características que queremos medir y ademá simule los elementos más comunes que te

puedes encontrar en cualquier entorno virtual. Así, se va diseñar un circuito que incluirá elementos como escaleras, desniveles, obstáculos e incluso puertas. Por otro lado tendrá que tener zonas donde se pueda medir la orientación y precisión. Todo este circuito será recorrido usando diferentes técnicas de desplazamiento.

Por otro lado, hay que tener en cuenta que las tareas de desplazamiento generalmente van acompañadas de otras tareas de interacción. El circuito deberá incluir además algunas tareas de interacción para estudiar cómo influyen en la experiencia de usuario de las tareas de desplazamiento. Por último se desea estudiar la presencia del usuario en el circuito; esto quiere decir que habrá que incluir un mapa para que el usuario sea capaz de guiarse de un punto a otro del circuito.

Con toda la información anterior, la estructura del circuito o gymkhana será la siguiente. Existirá un mismo circuito para cada tipo de característica a medir pero sufrirá variaciones para poder medir dichas características adecuadamente. El circuito contará con varias zonas, cada zona tendrá una serie de características que permitirá ver cómo se desenvuelve el usuario en ellas. El circuito contará de tres pruebas:

- **Prueba de velocidad:** El usuario deberá recorrer el circuito con alguna técnica de locomoción y se cronometrará el tiempo que tarda en hacerlo.
- **Prueba de interacción:** El usuario deberá recorrer otra vez el mismo circuito pero se incluyen algunas técnicas de interacción en cada zona. El objetivo es ver cómo afecta al tiempo de realización y a la experiencia de usuario.
- **Prueba de presencia:** El usuario contará con un mapa donde podrá ver el circuito, su posición y la siguiente posición que debe ir. Se medirá el tiempo que tarda en llegar a cada posición.

Las pruebas serán cronometradas y podrán ser medidos algunos aspectos numéricos como por ejemplo la precisión o si se ha completado alguna tarea o no. El resto de características que se quieren medir sólo es posible a través de un feedback directo del usuario. Para obtener este feedback se crearán una serie de cuestionarios cuyo objetivo es obtener un grado de satisfacción del usuario sobre ciertas características y después usar esos datos para sacar conclusiones sobre los distintos métodos de desplazamiento.

3.3. Métodos de desplazamiento e interacción

A continuación se van a explicar los distintos métodos de desplazamiento que los usuarios podrán usar en la gymkhana:

- **Teletransporte:** El usuario podrá teletransportarse de un punto a otro del recorrido gracias a un puntero que sale del controlador. El usuario apuntará a donde quiere ir y será teletransportado a donde colisione el puntero. El efecto de teletransporte consistirá en un desplazamiento muy rápido entre ambos puntos. El teletransporte

no es instantáneo porque de la otra manera se pierde menos orientación y causa menos mareo.

- **Arrastrar mundo (Drag world):** El usuario podrá pulsar un botón del controlador y al moverlo podrá mover el mundo a su alrededor mientras el usuario permanece estático. Este método causa la impresión de que el usuario tiene la capacidad de agarrar el mundo y poder moverlo a su antojo para poder estar en la posición que desea.
- **Moverse en el sitio:** El usuario al simular que corre en el sitio o mueve los brazos como si corriera es capaz de avanzar en el entorno virtual en la dirección en la que esté mirando o en la dirección a la que estén mirando los controladores.
- **Movimiento con touchpad:** El usuario podrá pulsar una dirección del touchpad del controlador y se desplazará en el entorno virtual en esa misma dirección.
- **Tirachinas:** Esta es la técnica de desplazamiento más complicada. Intenta simular que el usuario puede tirar de una goma invisible y ser lanzado en la dirección a la que está apuntando. El funcionamiento es el siguiente: el usuario extiende el brazo y pulsa un botón mientras tira hacia atrás del controlador (como si tirase de una goma), al soltar el botón el usuario será lanzado en la dirección en la que ha hecho el movimiento de estirar la goma.

Por otro lado se van a incluir técnicas de interacción tales como coger y mover objetos, abrir puertas y apuntar en una dirección para comprobar la orientación del usuario.

4. Tecnología a usar

El objetivo de esta sección es exponer las tecnologías elegidas para el desarrollo de este proyecto. Se comentarán las razones por las que se han escogido y sus características haciendo una división entre tecnologías software y hardware.

4.1. Hardware

Los elementos hardware consisten en los elementos físicos tangibles que se han usado para desarrollar este proyecto. Principalmente se resumen en el kit de realidad virtual con el cual los usuarios podrán interactuar con el circuito; y el ordenador usado para renderizar el circuito en interpretar los datos obtenidos del kit de realidad virtual.

4.1.1. Kit de realidad virtual

En este caso se han usado los kits de realidad virtual HTC Vive y HTC Vive Pro siendo este último una versión mejorada del primero. En la siguiente tabla se muestra una tabla comparativa donde se muestran las principales diferencias entre los dos modelos [20].

Característica	HTC Vive	HTC Vive Pro
Precio	1.200\$	1.399\$
Resolución de pantalla	1080 x 1200 por ojo (2160 x 1200 resolución total)	1400 x 1600 por ojo (2800 x 1600 resolución total)
Audio	Auriculares de alta resolución con certificación Hi-Res con amplificador incorporado y sonido espacial 3D, micrófonos duales con cancelación activa de ruido.	Entrada de auriculares de 3,5 mm, micrófono incorporado.
Tasa de refresco	90 Hz	90 Hz
Campo de visión	110º	110º
Seguimiento	Dos estaciones base estándar para seguimiento de VR	Dos estaciones base estándar para seguimiento de VR

Figura 4.1.1.1: Tabla comparativa de HTC Vive

Se han omitido algunas características por carecer de relevancia en esta comparativa además de ser iguales en ambos modelos. Como se puede ver, las únicas diferencias en cuanto a prestaciones son que HTC Vive Pro cuenta con mayor resolución, lo

que se traduce en mayor densidad de píxeles lo que resulta en una visión más definida del entorno virtual. Por otro lado HTC Vive Pro incluye unos auriculares aunque esto no influye en el proyecto ya que no estudiamos los efectos del audio en el desplazamiento.



Figura 4.1.1.2: Kit de realidad virtual HTC Vive



Figura 4.1.1.3: Kit de realidad virtual HTC Vive Pro

La razón por la que se han elegido estos kits es porque son unos de los más potentes del mercado, son compatibles con el software que se explicará en la siguiente sección y además ya estaban disponibles en el departamento por lo que no era necesario invertir dinero en otros kits. Por otro lado, para el objetivo de este estudio, las prestaciones de los kits,a diferencia del software usado, no repercuten en los resultados por lo que cualquier kit de realidad virtual hubiera sido válido igualmente.

Ambos kits necesitan un ordenador con las mismas prestaciones mínimas. La realidad virtual necesita de un hardware relativamente potente en comparación a las prestaciones necesarias para otros usos más comunes. Las prestaciones mínimas de ambos modelos se exponen a continuación:

- Tarjeta gráfica: NVIDIA GeForce GTX 1060 o AMD Radeon RX 480, equivalente o mejor
- Procesador: Intel Core i5-4590 o AMD FX 8350, equivalente o mejor
- Memoria: 4GB RAM o más
- Salida de video: HDMI 1.4, DisplayPort 1.2 o más reciente
- Puertos USB: 1x USB 3.0 o un puerto más nuevo
- Sistema operativo: Windows 8.1 o posterior, Windows 10

A continuación se enuncian los distintos componentes de los kits de realidad virtual usados y su relación con el resto de componentes:

- **Estaciones base:** Las estaciones base consisten en una matriz de emisores de infrarrojos. El visor del kit se encarga de percibir la luz infrarroja de esos sensores para que, según la orientación y distancia entre sí de los emisores infrarrojos, pueda ser capaz de calcular una posición en el entorno físico del usuario y traducirla en una posición dentro del entorno virtual. Estos sensores van conectados solo a la corriente y se comunican con el visor mediante bluetooth.



Figura 4.1.1.4: Estaciones base de HTC Vive

- **Mandos:** Los mandos son unos dispositivos que cuentan con distintos botones para interactuar con el entorno virtual, además perciben la luz infrarroja de los sensores para poder ser situados en el espacio virtual de igual manera que el visor. Gracias a estos

mandos se puede interactuar con los entornos virtuales y los elementos que se encuentran en ellos. Se comunican con el visor a través de bluetooth. Los mandos cuentan con diferentes botones, gatillos y sensores táctiles que permiten al usuario realizar distintas acciones.



Figura 4.1.1.5: Mandos de HTC Vive

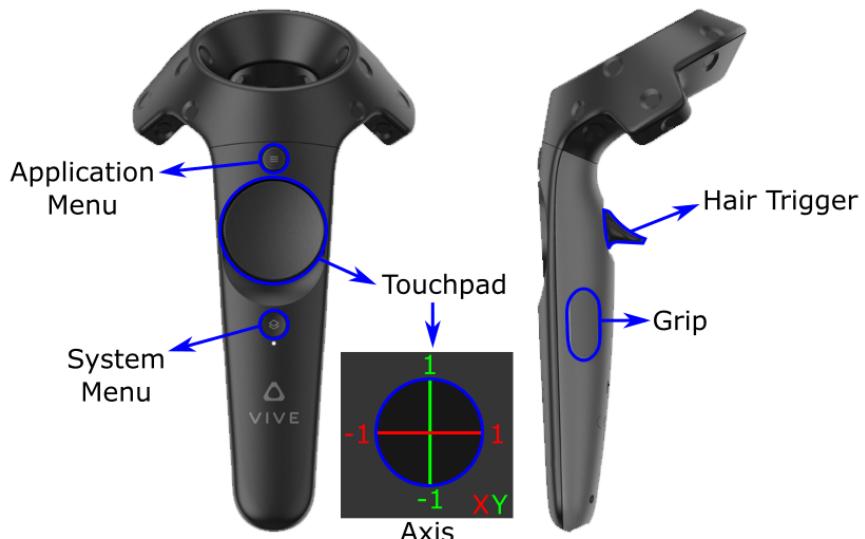


Figura 4.1.1.6: Botones de los mandos de HTC Vive

- **Visor:** El visor está diseñado para ser colocado en la cabeza delante de los ojos, su función principal es emitir una imagen de video estereoscópica para que el usuario pueda ver el entorno virtual en tres dimensiones. Este visor cuenta con una pantalla en la que se emite una imagen de video para cada ojo y dos lentes que se usan para que el usuario pueda enfocar su visión sobre esa pantalla. Además tiene unas cámaras en la parte frontal para percibir si el usuario está fuera de los límites físicos de su entorno y también para

aplicaciones de realidad mixta. Por otro lado, como ya he comentado, el visor cuenta con receptores infrarrojos que se usan para obtener su posición en el espacio gracias a la luz infrarroja emitida por los sensores. Este dispositivo se conecta al ordenador mediante un cable USB y un cable HDMI, además necesita ser conectado a una toma de corriente. El visor será usado para que el usuario pueda percibir por la vista el entorno virtual y al mover la cabeza pueda tener una visión natural de su alrededor.



Figura 4.1.1.7: Visor de HTC Vive Pro

4.1.2. Ordenador

Como ya he comentado, el ordenador va a ser el encargado de recibir los datos del kit de realidad virtual y enviar una respuesta en imagen de video al visor y una respuesta haptica a los mandos si es necesario. Por otro lado es el encargado de ejecutar el software que se ha usado para diseñar y renderizar la gymkhana. Las características del ordenador usado son las siguientes:

- Procesador: Intel(R) Core(TM) i7-6700k 4.00GHz.
- Memoria RAM: 32 GB.
- Tarjeta gráfica: NVidia Geforce GTX 1070.
- Memoria: SSD de 240GB y HDD de 2TB.
- Sistema operativo: Windows 10 home de 64 bits.

Como se puede las prestaciones del ordenador usado son superiores a las mínimas indicadas por el fabricante de HTC Vive por lo tanto no se han tenido problemas de rendimiento a la hora de renderizar la gymkhana y usar el kit de realidad virtual.

4.2. Software

El software usado para realizar este estudio consiste en los programas necesarios para desarrollar la gymkhana, diseñar elementos 3D y controlar la información enviada y recibida por el kit de realidad virtual.

4.2.1. Sistema operativo

El sistema operativo es el encargado de gestionar todos los programas que se explican a continuación. Se ha usado Windows 10 Home porque es el sistema operativo requerido por el kit de realidad virtual. Además el resto de programas que se han usado cuentan con más soporte y están más optimizados para Windows que para otros sistemas operativos.

En la siguiente tabla se muestra los sistemas operativos necesarios para cada programa[21] [22][23]:

Programa	Sistema operativo
Unity	Windows 7 SP1 +, 8, 10, versiones de 64 bits solamente; macOS 10.12+
Blender	Windows 10, 8 y 7,macOS 10.12+, Linux
Steam	Windows 7 SP1, Windows 8.1 o posterior, Windows 10
SteamVR	Windows 7 SP1, Windows 8.1 o posterior, Windows 10
VisualStudio	- Windows 10 versión 1507 o posteriores: Home, Professional, Education y Enterprise (Windows Server 2016: Standard y Datacenter - Windows 8.1 (con la actualización 2919355): Core, Professional y Enterprise - Windows Server 2012 R2 (con la actualización 2919355): Essentials, Standard y Datacenter - Windows 7 SP1 (con las actualizaciones más recientes de Windows): Home Premium, Professional, Enterprise y Ultimate

Figura 4.2.1.1: Tabla comparativa de requisitos de software

Se puede ver que el factor común en los distintos programas es Windows, por lo tanto ese ha sido el sistema operativo escogido y en su última versión para tener las funcionalidades más recientes.

4.2.2. Blender

Blender ha sido el programa usado para diseñar algunos modelos 3D los cuales no era posible hacer con Unity. Blender es el paquete de creación 3D de código abierto y

gratuito. Admite la totalidad de la canalización 3D: modelado, rigging, animación, simulación, renderización, composición y seguimiento de movimiento, incluso edición de video y creación de juegos.

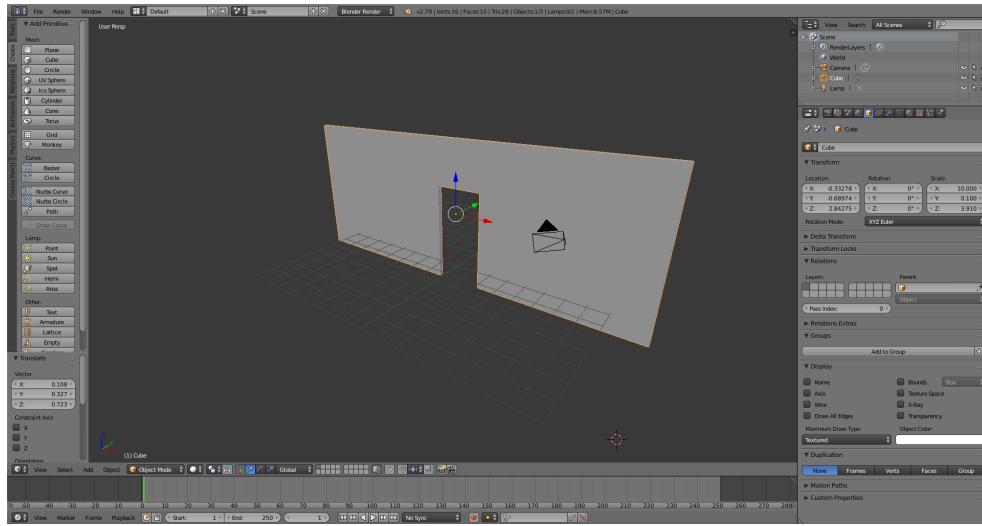


Figura 4.2.2.1: Captura de una ejecución de Blender

Concretamente se ha usado solo la funcionalidad de modelado de este programa. Los modelos desarrollados se han creado mediante transformaciones lógicas de primitivas 3D (esferas, cubos, planos, etc). Blender cuenta para ellos con numerosas herramientas que hacen que esta tarea sea sencilla e intuitiva. A esto se le suma la capacidad de exportar los modelos a Unity y su licencia gratuita lo que hace que sea el candidato perfecto para esta tarea.

4.2.3. Steam y Steam VR

Steam es una plataforma de distribución digital de videojuegos desarrollada por Valve Corporation. En ella se puede descargar SteamVR la cual es una aplicación encargada de reconocer el kit de realidad virtual y establecer la comunicación entre dicho kit y los programas que se estén ejecutando en el ordenador. Se podría decir que es el intermediario entre las HTC Vive y Unity. Además se puede monitorizar el estado de los componentes del kit (batería, tracking, etc), se pueden configurar los límites físicos del usuario para que se muestre cuando este está fuera de ellos y cuenta con un menú que se puede acceder en todo momento en cualquier aplicación para interactuar con el ordenador y el propio SteamVR.

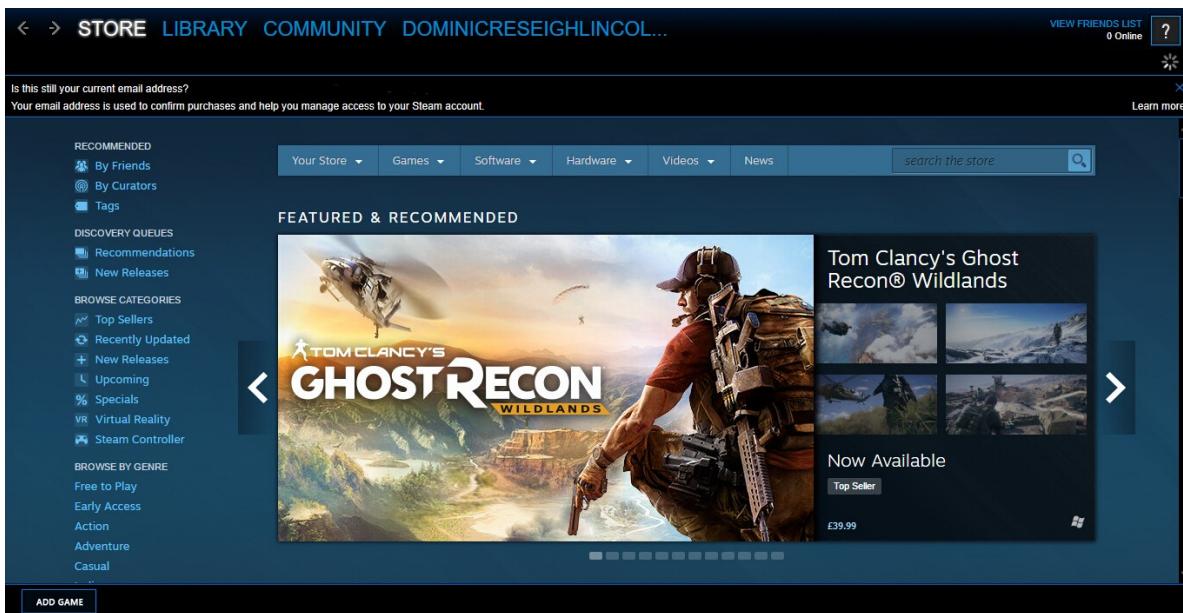


Figura 4.2.3.1: Captura de la tienda de Steam



Figura 4.2.3.2: Captura de la monitorización de SteamVR



Figura 4.2.3.3: Captura del menú de SteamVR

4.2.4. Unity

Unity es un motor de juegos multiplataforma desarrollado por Unity Technologies. El motor se puede usar para crear juegos de realidad aumentada tridimensional, bidimensional, virtual y aumentada, así como simulaciones y otras experiencias.

La versión personal de este programa es completamente gratuita y tiene todas las herramientas necesarias para cumplir el desarrollo de la gymkhana de este proyecto. Es el motor de videojuegos más extendido y cuenta con numerosas librerías. Con este motor se pueden crear entornos virtuales mediante elementos 3D y scripts. Los scripts son clases programadas en C# que otorgan a los elementos de la escena con determinadas características. También cuenta con los prefabs que son objetos del entorno virtual con una apariencia creada por una malla 3D y una serie de scripts. Estos prefabs pueden ser importados y exportados entre proyectos lo que permite la portabilidad de muchos elementos.

Se ha elegido este programa por ser gratuito, por su compatibilidad con Windows y SteamVR y por la cantidad de librerías y documentación que existen. Concretamente se ha usado la versión 2018.3.5f1.

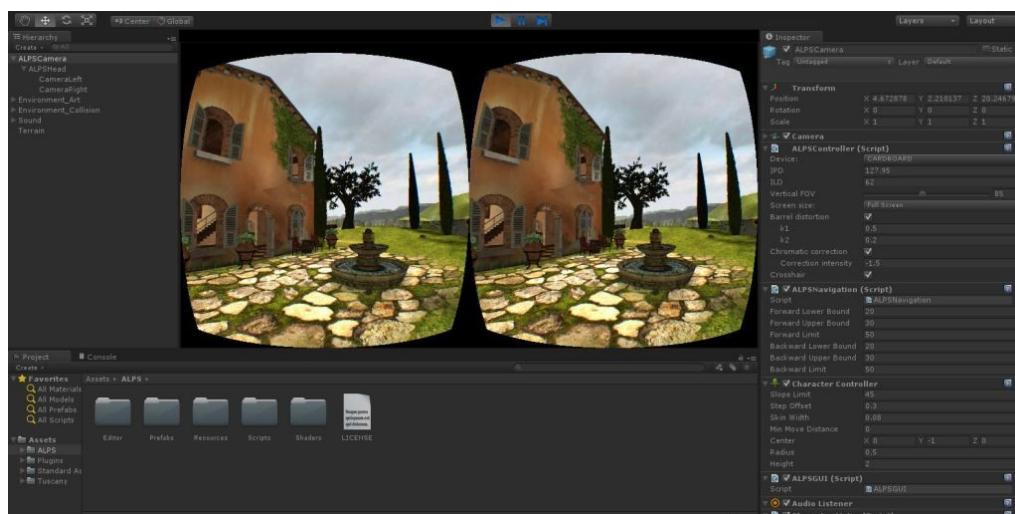


Figura 4.2.4.1: Captura de Unity

4.2.5. Visual Studio

Visual es el entorno de desarrollo integrado (IDE) usado para programar los scripts de unity en C#. Se ha escogido este IDE por estar integrado con Unity y su compatibilidad con Windows ya que son del mismo fabricante.

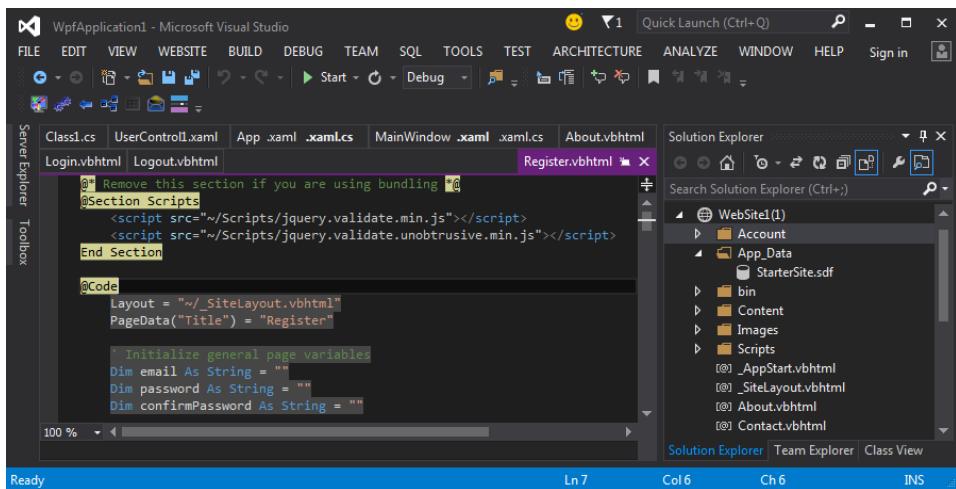


Figura 4.2.5.1: Captura de pantalla de un programa en VisualStudio

Se ha usado la versión 2018 por ser la última versión disponible cuando se empezó el proyecto.

4.2.6. VRTK

VRTK es la librería de unity usada para incluir distintas funcionalidades de la realidad virtual en el entorno virtual tales como desplazamiento e interacción. Consiste en un conjunto de scripts y prefabs que hacen uso de la librería de SteamVR para unity y que al introducirlos en la escena permiten por ejemplo hacer que un objeto pueda ser cogido por el usuario mediante los mandos o que el usuario pueda teletransportarse.

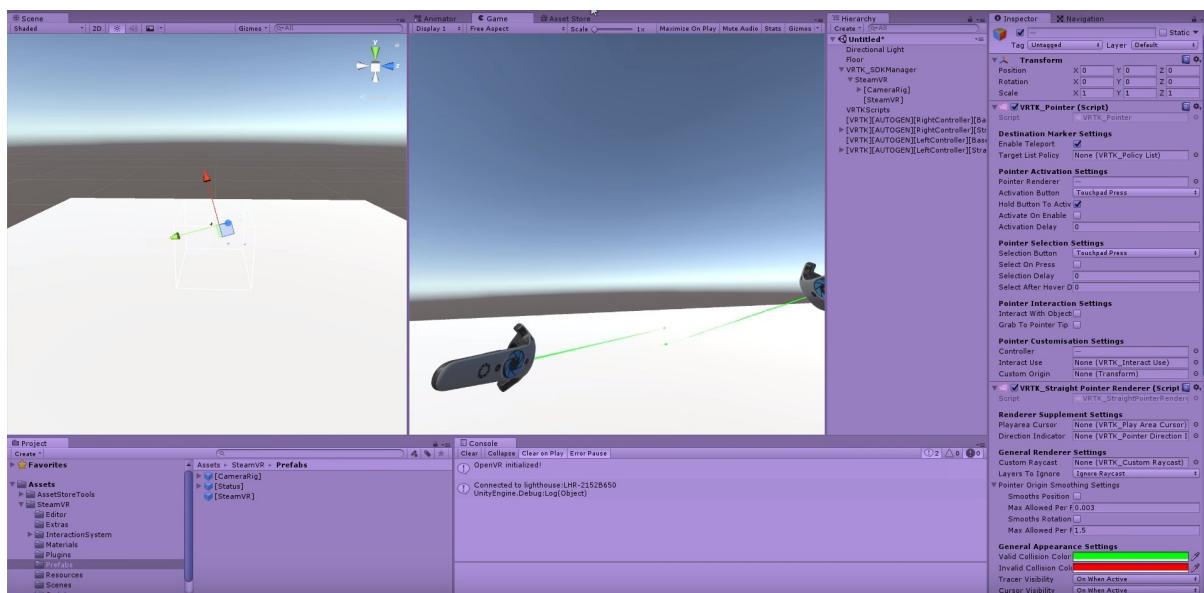


Figura 4.2.6.1: Captura de un ejemplo de uso de VRTK en Unity

Se ha usado esta librería por su efectividad y por su licencia gratuita. Se ha usado la versión 3.3.0 porque era la última en el momento del desarrollo. Además permite hacer uso

de todos los kits de realidad virtual con un mismo ejecutable.

A continuación se muestra una lista de algunos scripts incluidos en esta librería.

PUNTEROS

- VRTK_DestinationMarker: Proporciona una base de la que todos los marcadores de destino pueden heredar.
- VRTK_Pointer: Proporciona una base para poder emitir un puntero desde un GameObject especificado.
- VRTK_PlayAreaCursor: Proporciona una representación visual de los límites del área de reproducción que sigue a la posición del cursor de un puntero.

RENDERIZADORES DE PUNTEROS

- Pointer Origin Smoothing Settings: Proporciona una base de la que todos los renderizadores de puntero pueden heredar.
- VRTK_StraightPointerRenderer: Una representación de puntero visual de una línea recta con un cursor opcional al final.
- VRTK_BezierPointerRenderer: Una representación de puntero visual de una línea curva hecha de múltiples objetos con un cursor opcional al final.

LOCOMOCIÓN

- VRTK_BasicTeleport: Actualiza la posición x / z del SDK Camera Rig con un desvanecimiento de pantalla opcional
- VRTK_HeightAdjustTeleport: Actualiza la posición x / y / z del apparejo de cámara SDK con un desvanecimiento de pantalla opcional.
- VRTK_DashTeleport: Actualiza la posición x / y / z del SDK Camera Rig con un salto a la nueva posición creando un efecto de desplazamiento rápido.
- VRTK_TeleportDisableOnHeadsetCollision: Evita la teletransportación cuando el HMD está colisionando con una geometría válida.
- VRTK_TeleportDisableOnControllerObscured: Evita la teletransportación cuando los controladores están ocultos de la línea de visión del HMD.
- VRTK_ObjectControl: Proporciona una base de la que todas las locomociones de control de objetos pueden heredar.
- VRTK_TouchpadControl: Proporciona la capacidad de controlar la posición de un GameObject en función de la posición del eje del panel táctil del controlador.
- VRTK_ButtonControl: Proporciona la capacidad de controlar la posición de un GameObject con solo presionar un botón del controlador vinculado a una dirección de eje específica.
- VRTK_MoveInPlace: Mueve el SDK Camera Rig en función del movimiento del visor y / o los controladores. Intenta recrear el concepto de caminar físicamente en el lugar para crear movimiento en la escena.
- VRTK_PlayerClimb: Proporciona la capacidad de mover el SDK Camera Rig en función de si Interact Grab está interactuando con un objeto escalable interactivo para simular la escalada.
- VRTK_SlingshotJump: Proporciona la capacidad de lanzar el SDK Camera Rig con

un movimiento de salto mediante tirachinas basado en el retroceso de cada controlador válido.

- VRTK_StepMultiplier: Multiplica cada paso del mundo real dentro del área de juego para permitir que se recorran más distancias en el mundo virtual.
- VRTK_TunnelOverlay: Aplica un efecto de superposición de túnel a la cámara VR activa cuando el área de juego se mueve o gira para reducir las posibles náuseas causadas por el mareo de simulación.
- VRTK_DragWorld: Proporciona la capacidad de mover, rotar y escalar la escena arrastrando el mundo con los controladores.

ACCIONES DE CONTROL DE OBJETOS

- VRTK_BaseObjectControlAction: Proporciona una base de la que todas las acciones de control de objetos pueden heredar.
- VRTK_SlideObjectControlAction: Proporciona la capacidad de mover un GameObject deslizándolo por el plano x / z en la escena actualizando la posición Transform cuando cambia el eje de Control de Objeto correspondiente.
- VRTK_RotateObjectControlAction: Proporciona la capacidad de rotar un GameObject a través del eje y del mundo en la escena actualizando la rotación del transform cuando cambia el eje de control de objeto correspondiente.
- VRTK_SnapRotateObjectControlAction: Proporciona la capacidad de rotar rápidamente un GameObject a través del eje y del mundo en la escena actualizando la rotación de transformación en pasos definidos cuando cambia el eje de control de objeto correspondiente.
- VRTK_WarpObjectControlAction: Proporciona la capacidad de mover un GameObject moviéndolo a través del plano x / z en la escena actualizando la posición del transform en pasos definidos cuando cambia el eje de control de objeto correspondiente.

INTERACTUADORES

- VRTK_ControllerEvents: Una relación con un controlador de realidad virtual física y emite eventos basados en las entradas del controlador.
- VRTK_InteractTouch: Determina si un GameObject puede iniciar un toque con un objeto interactivo.
- VRTK_InteractNearTouch: Determina si un GameObject puede iniciar un toque cercano con un objeto interactivo
- VRTK_InteractGrab: Determina si Interact Touch puede iniciar una captura con el objeto interactivo tocado.
- VRTK_InteractUse: Determina si Interact Touch puede iniciar una interacción de uso con el objeto interactivo tocado.
- VRTK_ControllerTrackedCollider: Proporciona una colección de colisionadores de controladores que sigue al cuerpo rigid body del controlador a través del sistema de físicas.
- VRTK_ControllerHighlighter: Permite resaltar elementos del controlador.
- VRTK_ObjectAutoGrab: Intenta capturar automáticamente un objeto interactivo especificado.

INTERACTIVOS

- VRTK_InteractableObject: Determina si se puede interactuar con GameObject.
- VRTK_InteractableListener: Proporciona una base de la que las clases que requieren suscribirse a los eventos de interacción de un objeto interactivo pueden heredar.
- VRTK_InteractHaptics: Proporciona respuesta haptica en el controlador tras la interacción con el objeto interactivo especificado.
- VRTK_ObjectAppearance: Determine si el Objeto a afectar debe estar visible u oculto de manera predeterminada o en interacción (casi tocar, tocar, agarrar, usar).
- VRTK_InteractObjectHighlighter: Habilita el resaltado de una base de objeto interactivo en el tipo de interacción.
- VRTK_ObjectTouchAutoInteract: Permite que agarrar o usar sucedan automáticamente al tocar un objeto interactivo.
- VRTK_IgnoreInteractTouchColliders: Ignora las colisiones entre los colisionadores Interact Touch dados y los colisionadores en el GameObject al que se adjunta este script.

RESALTADORES

- VRTK_BaseHighlighter: Proporciona una base de la que todos los resaltadores pueden heredar.
- VRTK_MaterialColorSwapHighlighter: Cambia el color de la textura en el material Renderers para el color de resaltado dado.
- VRTK_PropertyBlockColorSwapHighlighter: Intercambia el color de la textura en el material Renderers para el color de resaltado dado usando bloques de propiedades.
- VRTK_OutlineObjectCopyHighlighter: Crea una copia de malla y aplica un sombreador de contorno que se activa y desactiva al resaltar el objeto.

MECÁNICAS DE AGARRAR OBJETOS

- VRTK_BaseGrabAttach: Proporciona una base de la que todas las mecánicas de agarre pueden heredar.
- VRTK_BaseJointGrabAttach: Proporciona una base de la que pueden heredar todas las mecánicas de agarre basado en uniones.
- VRTK_FixedJointGrabAttach: Adjunta el objeto interactivo agarrado al objeto agarrador a través de una articulación fija.
- VRTK_SpringJointGrabAttach: Adjunta el objeto interaccionable agarrado al objeto agarrador a través de una articulación de muelle.
- VRTK_CustomJointGrabAttach: Adjunta el objeto interaccionable agarrado al objeto agarrador a través de una articulación personalizada.
- VRTK_ChildOfControllerGrabAttach: Establece que el objeto interactivo agarrado sea hijo del objeto que lo agarra.
- VRTK_TrackObjectGrabAttach: Aplica velocidad al objeto interactivo agarrado para asegurarse de que rastrea la posición del objeto agarrado.
- VRTK_RotatorTrackGrabAttach: Aplica una fuerza de rotación al objeto interactivo agarrado.
- VRTK_ClimbableGrabAttach: Marca el objeto interactivo como escalable.

- VRTK_ControlAnimationGrabAttach: Se desplaza por la animación dada en función de la distancia desde el objeto de agarre hasta el punto de agarre original.
- VRTK_MoveTransformGrabAttach: Mueve el transform del objeto interactivo hacia el objeto que interactúa dentro de los límites especificados.
- VRTK_RotateTransformGrabAttach: Rota el transform del objeto interactivo alrededor de un eje local de transformación especificado dentro de los límites dados.

PRESENCIA

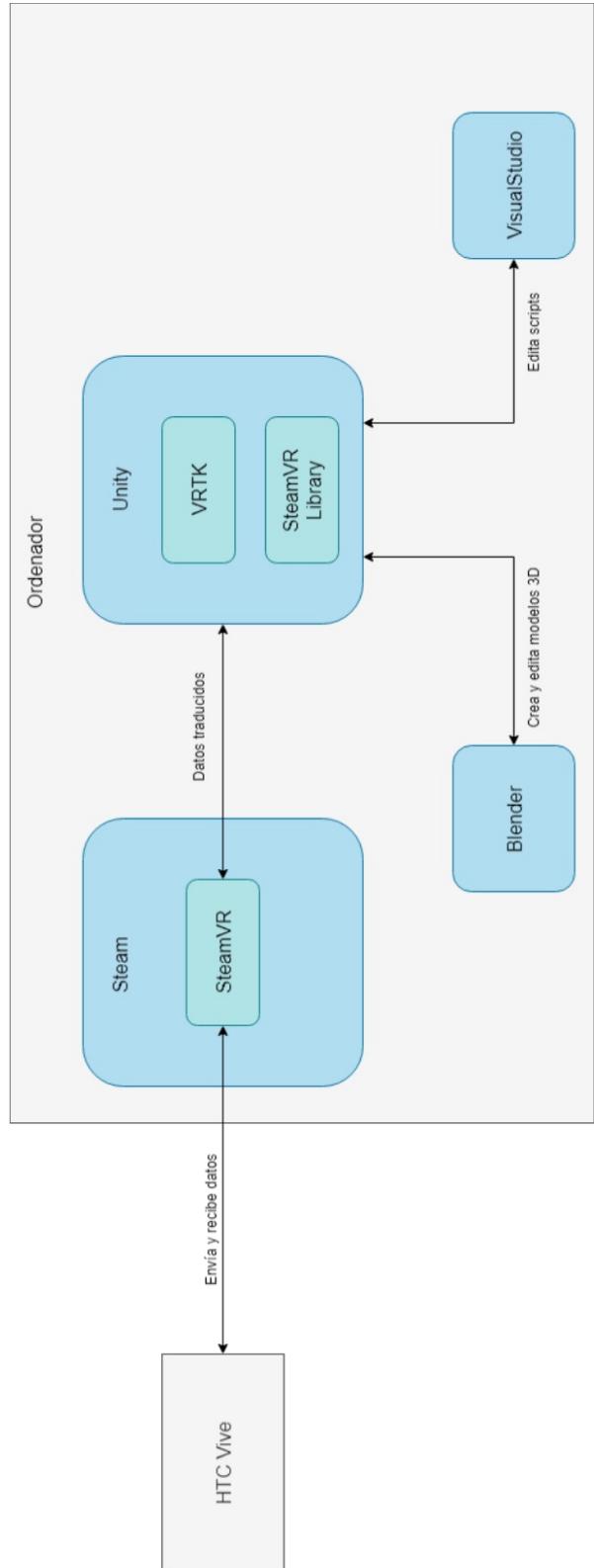
- VRTK_HeadsetCollision: Denota cuando el HMD está colisionando con una geometría válida.
- VRTK_HeadsetFade: Proporciona la capacidad de cambiar el color de la vista del HMD a un color específico durante una duración determinada.
- VRTK_HeadsetCollisionFade: Inicia un desvanecimiento de la vista del HMD cuando se detecta un evento de colisión del HMD.
- VRTK_HeadsetControllerAware: Determina si el HMD está a la vista de los controladores o si el HMD está mirando directamente a uno de los controladores.
- VRTK_HipTracking: Intenta proporcionar la posición relativa de la cadera sin la necesidad de sensores de hardware adicionales.
- VRTK_BodyPhysics: Permite que el play area se vea afectada por la física y detecte colisiones con otra geometría válida.
- VRTK_PositionRewind: Intenta rebobinar la posición del área de juego hasta una última posición válida conocida en el evento de colisión del HMD.

INTERFAZ DE USUARIO

- VRTK_UICanvas: Denota que un Unity World UI Canvas puede interactuar con un script de UIPointer.
- VRTK_UIPointer: Proporciona la capacidad de interactuar con los elementos de UICanvas y los elementos contenidos en la interfaz de usuario de Unity.
- VRTK_UIDraggableItem: Denota un elemento de la interfaz de usuario de Unity como arrastrable en el canvas de la interfaz de usuario.
- VRTK_UIDropZone: Especifica un elemento de la interfaz de usuario de Unity como una ubicación de zona de colocación válida para un elemento arrastrable de la interfaz de usuario.

4.2.7. Entorno de desarrollo usado

En la siguiente imagen se muestra un esquema de la estructura del proyecto creado con el software mencionado en las secciones anteriores. El kit de realidad virtual se comunicará con SteamVR que hará de intermediario con Unity. Unity hará uso de la librería VRTK para hacer uso de funciones de VR y de la librería de SteamVR para poder traducir los datos recibidos y poder generar una respuesta. Se ha usado VisualStudio para programar los scripts de Unity y Blender para hacer algunos modelos 3D que se importan posteriormente en Unity.



5. Metodologías a usar en el proyecto

En esta sección se va a hablar sobre la metodología de trabajo usada para desarrollar todo el proyecto así como sus ventajas y tecnologías usadas para llevarla a cabo.

5.1. Metodologías ágiles

El desarrollo de software ágil es un término general para un conjunto de marcos y prácticas basadas en los valores y principios expresados en el Manifiesto para el desarrollo de software ágil y los 12 principios que lo respaldan [24][25]. Estos valores aparecen en el anexo 1. Se ha elegido hacer uso de las metodologías ágiles porque cuentan con las siguientes ventajas:

- Son más efectivas para el desarrollo de software que las metodologías tradicionales.
- Se emplean soluciones en pleno proceso de trabajo sin necesidad de tener que esperar hasta el final.
- La entrega del producto o servicio es más rápida.
- Se eliminan tareas que son innecesarias y los esfuerzos se centralizan y unifican.
- Al crear prioridades se optimizan los recursos y los resultados.

Por otro lado cuentan con algunas desventajas como la falta de documentación, que se depende en gran medida del líder del equipo (en nuestro caso no existe) y pueden llevar a soluciones erróneas.

En nuestro caso tendremos siempre en mente la entrega de software con valor ya que el resto de consejos para el equipo carecen de sentido porque el trabajo se ha realizado por una persona. Por otro lado se han tomado ciertos aspectos de la metodología ágil Scrum [26] en concreto el papel de Product Owner o cliente llevado a cabo por el tutor del proyecto el cual prioriza los objetivos a cumplir en cada fase del proyecto. De esta metodología se han tomado también las iteraciones de entrega de producto (tal y como se indica en el manifiesto ágil). En nuestro caso, debido a tener que dedicar parcialmente el tiempo disponible a proyecto, las iteraciones no han sido de tiempo fijo.

Para cada iteración se han especificado una serie de objetivos o historias de usuario a cumplir y se ha obtenido el feedback de la iteración anterior por parte del product owner y se han creado también nuevas historias de usuario para mejorar lo desarrollado. Durante la iteración se ha implementado lo necesario para cumplir los criterios de aceptación de las historias de usuario y finalmente se ha entregado un producto con valor para el usuario.

Todo el proceso se puede dividir en tres fases: diseño, producción y pruebas con usuarios:

- **Diseño:** En esta fase se ha planteado y realizado bocetos sobre las bases del proyecto basándose en artículos y trabajos realizados.

- **Producción:** Consiste en varias iteraciones donde se han ido implementando las nuevas historias de usuario que han ido apareciendo. También para cada iteración se ha realizado una serie de pruebas para comprobar que todo funcionaba correctamente. Las pruebas se han realizado principalmente por el desarrollador y por el tutor del trabajo.

- **Pruebas con usuarios:** Esta última fase consiste en probar el proyecto con usuarios reales para recopilar información y sacar conclusiones.

5.2. Diseño centrado en el usuario

El diseño centrado en el usuario (DCU) es un enfoque de diseño que fundamenta el proceso en información sobre las personas que utilizarán el producto. Los procesos de DCU se centran en los usuarios a través de la planificación, diseño y desarrollo de un producto.

Algunas características forman parte de la definición canónica del DCU son:

- Está orientado a los usuarios del producto, que participan durante todo el proceso.
- A pesar de denominarse “diseño”, en realidad se aplica durante todas las fases del desarrollo (planificación, diseño, desarrollo, evaluación), desde las primeras etapas.
- Es iterativo.
- Es multidisciplinar.
- Su objetivo es obtener productos usables y satisfactorios para los usuarios.

En el proyecto se ha usado esta filosofía ya que siempre se ha tenido presente que iba a ser usado por usuarios reales por lo tanto se ha tenido en cuenta su usabilidad y se han realizado pruebas para comprobarlo.

5.3. Control de versiones

Para la implementación de este proyecto se ha usado un sistema de control de versiones basado en git. Un sistema de control de versiones (VCS) permite revertir archivos a un estado anterior, revertir el proyecto entero a un estado anterior, comparar cambios a lo largo del tiempo, ver quién y cómo modificó por última vez algo que puede estar causando un problema, quién introdujo un error y cuándo, y mucho más. Usar un VCS también significa que si se pierden archivos, se pueden recuperarlos fácilmente.

Git es un sistema de control de revisión distribuido, rápido y escalable con un conjunto de comandos bastante rico que proporciona operaciones de alto nivel y acceso completo a las partes internas [27]. Por otro lado es de los sistemas más usados y es de licencia gratuita.

La plataforma usada para almacenar el proyecto y llevar el control de versiones es Bitbucket [28]. Si bien Github es la más usada, se ha escogido esta porque la mayoría de personas que usan control de versiones para proyectos de Unity aseguran que Bitbucket realiza la tarea de manera más fiable.

Haciendo uso de este sistema, cada vez que se desarrollaba un producto con alguna funcionalidad nueva se podía almacenar su estado para evitar posibles pérdidas y además para poder trabajar desde otros lugares. También es útil ver todos los estados del proyecto para analizar las funcionalidades implementadas a lo largo del tiempo y así tener una idea general del desarrollo del proyecto.

6. Plan de entregas

En esta sección se van a exponer todas las entregas realizadas durante el desarrollo del proyecto. Estas son los distintos entregables con valor que se comentaron en la sección anterior. Todas estas entregas se han realizado para cumplir los criterios de aceptación de las historias de usuario que se exponen en la siguiente sección.

6.1. Historias de usuario

Identificador	Historia de usuario	Criterios de aceptación
HU1	Como investigador necesito hacer un estudio sobre los distintos métodos de desplazamiento en RV.	<p>Para cada método de desplazamiento:</p> <ul style="list-style-type: none">- Se pueden obtener datos sobre el tiempo tardado en realizar tareas.- Se pueden obtener datos sobre la experiencia de usuario.
HU2	Como investigador necesito que los usuarios hagan pruebas reales en RV para estudiar su desempeño haciendo uso de distintos métodos de desplazamiento.	<ul style="list-style-type: none">- Las pruebas se hacen con un kit de realidad virtual.- Las pruebas se hacen en un entorno virtual que incluya las características más comunes de un entorno real.- Las pruebas en el entorno virtual se pueden realizar con distintos métodos de desplazamiento.
HU3	Como investigador necesito compilar la información de la experiencia de los usuarios.	<ul style="list-style-type: none">- Los usuarios podrán llenar unos cuestionarios sobre la experiencia de usuario
HU4	Como usuario de pruebas quiero que las tareas a realizar en RV sean fáciles de entender y llevar a cabo.	<ul style="list-style-type: none">- Los usuarios tienen claro qué hacer en cada prueba.- Las pruebas no incluyen tareas que impliquen gran destreza.
HU5	Como usuario de pruebas quiero que los cuestionarios sean comprensibles.	<ul style="list-style-type: none">- Los cuestionarios son comprensibles para los usuarios.
HU6	Como usuario de la gymkhana quiero poder interactuar con objetos	<ul style="list-style-type: none">- Se puede interactuar con objetos dentro del entorno virtual
HU7	Como usuario de la gymkhana quiero poder seleccionar el método de desplazamiento	<ul style="list-style-type: none">- Hay un método para cambiar de método de desplazamiento dentro del entorno virtual

HU8	Como usuario de la gymkhana quiero tener ayuda durante el recorrido	- Se puede activar una ayuda tal como flechas o un mapa
-----	---	---

Figura 6.1.1: Tabla de historias de usuario

6.2. Plan de entregas

La siguiente tabla muestra el plan de entregas del proyecto. Se indica el alcance que debe tener el proyecto en la fecha indicada. Cada entrega se divide en varias iteraciones. Las fechas están puesta de manera tentativa ya que, aunque se ha intentado entregar para fechas concretas, en algunas ocasiones ha faltado tiempo.

Entrega	Objetivo		Fecha Entrega										
1	Diseño del circuito.		27/03/2019										
	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Iteración</th> <th>Objetivo</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>Diseño escrito del circuito.</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>Bocetos del circuito.</td> </tr> </tbody> </table>		Iteración	Objetivo	1	Diseño escrito del circuito.	2	Bocetos del circuito.					
Iteración	Objetivo												
1	Diseño escrito del circuito.												
2	Bocetos del circuito.												
2	Implementación del circuito de velocidad en Unity		21/05/2019										
	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Iteración</th> <th>Objetivo</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>Aprender nociones básicas de Unity.</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>Incorporar la librería VRTK en el proyecto.</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>Creación de la gymkhana.</td> </tr> <tr> <td>4</td> <td>Implementación de la prueba de velocidad.</td> </tr> </tbody> </table>		Iteración	Objetivo	1	Aprender nociones básicas de Unity.	2	Incorporar la librería VRTK en el proyecto.	3	Creación de la gymkhana.	4	Implementación de la prueba de velocidad.	
Iteración	Objetivo												
1	Aprender nociones básicas de Unity.												
2	Incorporar la librería VRTK en el proyecto.												
3	Creación de la gymkhana.												
4	Implementación de la prueba de velocidad.												
3	Implementación del circuito de interacción en Unity.		18/06/2019										
	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Iteración</th> <th>Objetivo</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>Crear los elementos de interacción en el circuito.</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>Implementar la prueba de interacción.</td> </tr> </tbody> </table>		Iteración	Objetivo	1	Crear los elementos de interacción en el circuito.	2	Implementar la prueba de interacción.					
Iteración	Objetivo												
1	Crear los elementos de interacción en el circuito.												
2	Implementar la prueba de interacción.												

4	Implementación del circuito de presencia en Unity. <table border="1"> <thead> <tr> <th>Iteración</th><th>Objetivo</th></tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td><td>Crear los elementos necesarios en el circuito.</td></tr> <tr> <td>2</td><td>Implementar la prueba de presencia.</td></tr> </tbody> </table>	Iteración	Objetivo	1	Crear los elementos necesarios en el circuito.	2	Implementar la prueba de presencia.	09/07/2019
Iteración	Objetivo							
1	Crear los elementos necesarios en el circuito.							
2	Implementar la prueba de presencia.							
5	Creación de cuestionarios. <table border="1"> <thead> <tr> <th>Iteración</th><th>Objetivo</th></tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td><td>Creación de cuestionarios.</td></tr> </tbody> </table>	Iteración	Objetivo	1	Creación de cuestionarios.	09/08/2019		
Iteración	Objetivo							
1	Creación de cuestionarios.							
6	Pruebas con usuarios <table border="1"> <thead> <tr> <th>Iteración</th><th>Objetivo</th></tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td><td>Hacer pruebas con usuarios.</td></tr> </tbody> </table>	Iteración	Objetivo	1	Hacer pruebas con usuarios.	27/08/2019		
Iteración	Objetivo							
1	Hacer pruebas con usuarios.							
7	Conclusiones <table border="1"> <thead> <tr> <th>Iteración</th><th>Objetivo</th></tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td><td>Compilar la información y hacer estadísticas.</td></tr> <tr> <td>2</td><td>Escribir conclusiones.</td></tr> </tbody> </table>	Iteración	Objetivo	1	Compilar la información y hacer estadísticas.	2	Escribir conclusiones.	04/09/2019
Iteración	Objetivo							
1	Compilar la información y hacer estadísticas.							
2	Escribir conclusiones.							

Figura 6.2.1. Tabla del plan de entregas

7. Desarrollo

En este apartado se va a explicar con detalle todo el proceso realizado para cada entrega, así como los documentos, bocetos, modelos 3D y los estados de la gymkhana desarrollada.

7.1. Entrega 1: Diseño del circuito

La primera entrega consistió en establecer qué elementos queríamos incluir en la gymkhana para poder estudiar la experiencia de usuario. Se diseñó la estructura de la gymkhana así como cada zona de ella incluyendo las características que tenía que incluir y las acciones que tenía que realizar el usuario.

Se decidió incluir en la gymkhana los elementos más comunes que te puedes encontrar en cualquier entorno virtual y que ocasionan un cierto reto a la hora de desplazarse: paredes, puertas, obstáculos, desniveles, suelo irregular. Por otro lado, para medir cómo afectan tareas secundarias a la locomoción se incluyeron algunas tareas de interacción tales como coger objetos o abrir puertas. Para medir la orientación se incluyó una zona que sería un laberinto. Todas estas características salvo las de interacción se pensaron para una fase de la gymkhana centrada en realizarla en el menor tiempo posible. Las pruebas de interacción se pensaron para ver de qué manera afectaban a cada zona y a cada método de desplazamiento. Estas tareas se podrán activar y desactivar a la hora de hacer las pruebas dependiendo de si se desea monitorizar solo el desplazamiento o si se desea ver cómo influyen otras tareas en este. En la siguiente imagen se muestra un boceto de las distintas fases que componen la gymkhana así como un identificador al lado de cada una de ellas para poder ser referenciadas. El boceto de la gymkhana apenas sufrió modificaciones a lo largo del desarrollo.

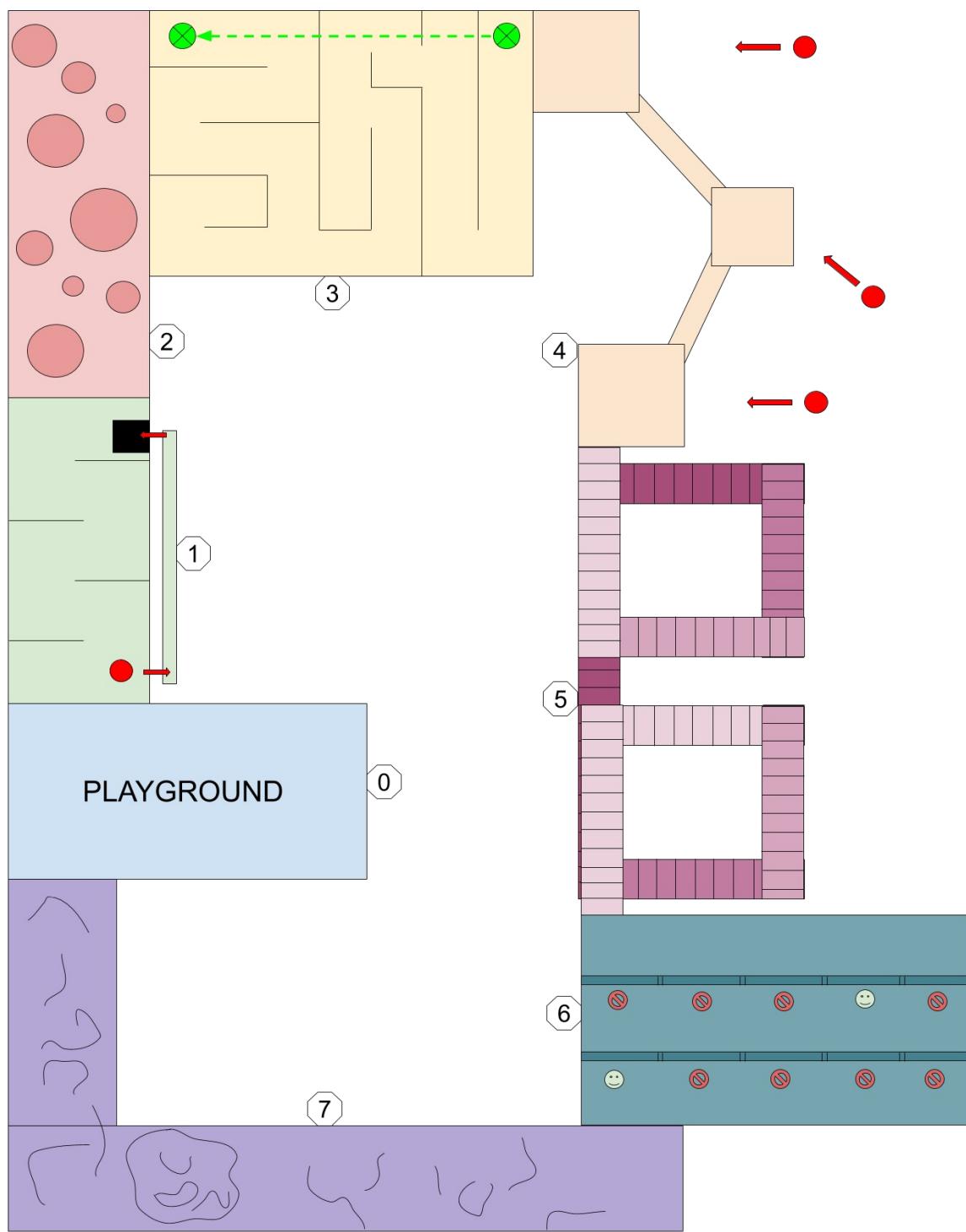


Figura 7.1.1: Diseño de la gymkhana

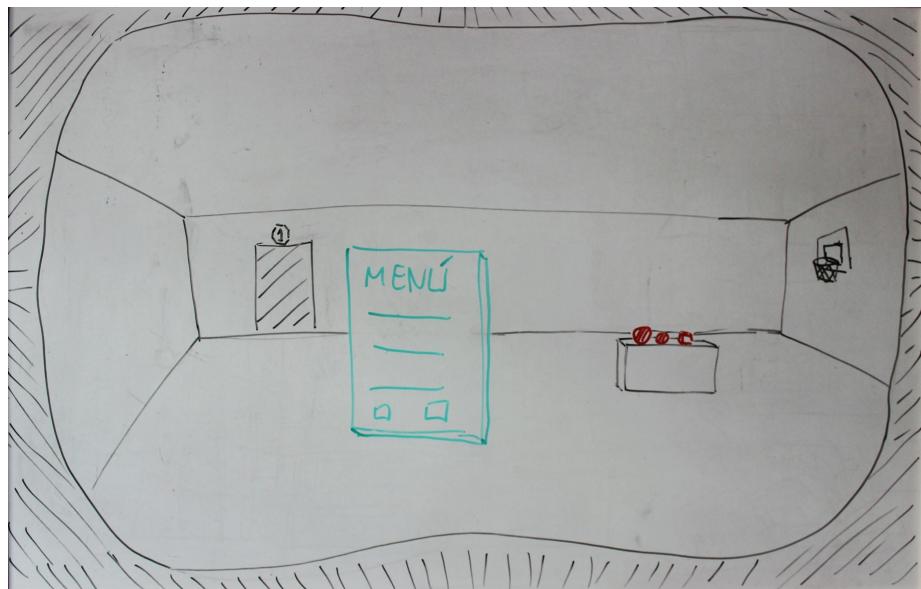
7.1.1. Fases de la gymkhana

- **Fase 0:** Fase inicial de la gymkhana. El usuario aparecerá en este escenario y se encontrará con un menú flotante delante suyo donde podrá leer una introducción de lo que tiene que hacer y podrá seleccionar el método de desplazamiento que va a usar para hacer el recorrido. Por otro lado habrá una “zona de juegos” donde el usuario podrá interactuar con objetos y habituarse al método de desplazamiento antes de comenzar el recorrido.
- **Fase 1:** En esta fase el usuario tendrá que coger una esfera y depositarla en un orificio en la pared de la derecha y comenzará a rodar por una pendiente. El objetivo del usuario es desplazarse en zig zag entre unas paredes y llegar al otro extremo de la pendiente para coger la bola antes de que caiga en un agujero. La idea de esta fase es añadir cierta presión sobre el usuario y ver cómo se desenvuelve. Esta tarea secundaria, como el resto de ellas se puede activar y desactivar.
- **Fase 2:** Esta fase consiste en ir avanzando evitando los obstáculos que se encuentran en el camino. No hay tarea secundaria.
- **Fase 3:** El usuario deberá atravesar un laberinto siempre pensando que al final de este deberá ser capaz de señalar el punto inicial. El objetivo es medir cuánto tarda en resolver el laberinto, la facilidad con la que lo hace y la desorientación que puede experimentar.
- **Fase 4:** Esta fase se compone de plataformas a distinta altura conectadas por unos caminos estrechos. A esta fase se le añade la dificultad de que una serie de esferas serán lanzadas al usuario y este tendrá que esquivarlas o golpearlas. El objetivo es ver cómo se desplaza el usuario mientras tiene la atención puesta en otra tarea.
- **Fase 5:** El usuario deberá subir y bajar por unas escaleras de caracol. Se ha incluido esta fase porque las escaleras es uno de los elementos más comunes en entornos virtuales.
- **Fase 6:** En esta fase, el usuario se encontrará con cuatro puertas de las cuales una sola de ellas se puede abrir. El usuario deberá desplazarse hasta las puertas e intentar abrir las de igual manera que se hace en el mundo real. Dependiendo de si estamos en la prueba de interacción o velocidad las puertas serán visibles o no respectivamente
- **Fase 7:** Esta es la última fase de la gymkhana. El suelo de esta fase tendrá muchas irregularidades y el usuario deberá avanzar sobre ellas hasta llegar al final.

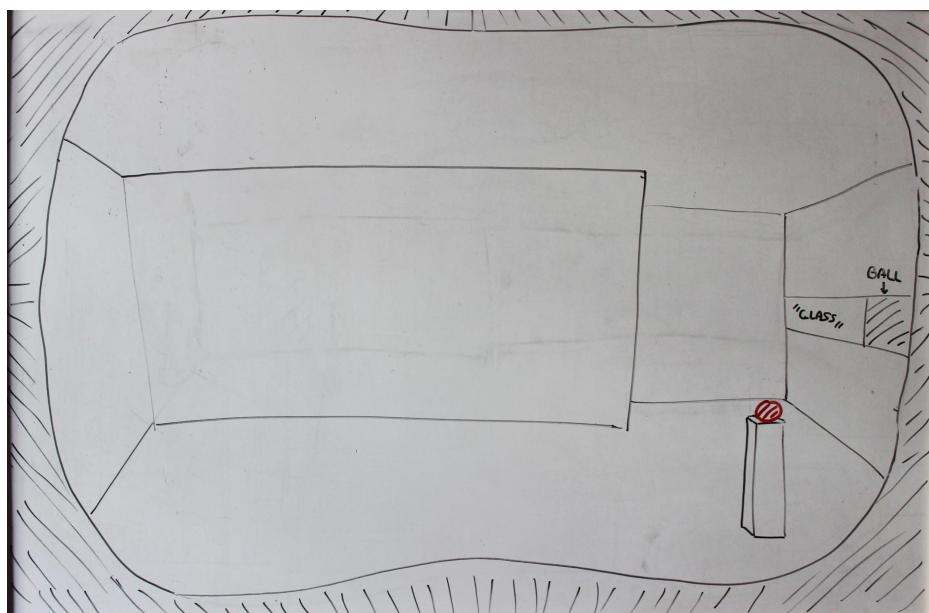
7.1.2. Bocetos 3D

Se realizaron unos bocetos para representar la vista que tendría el usuario en cada prueba con el objetivo de tener una idea principal para empezar a trabajar en el desarrollo de la gymkhana. El marco de cada boceto intenta representar los límites en el campo de visión que tiene el usuario al llevar unas gafas de realidad virtual.

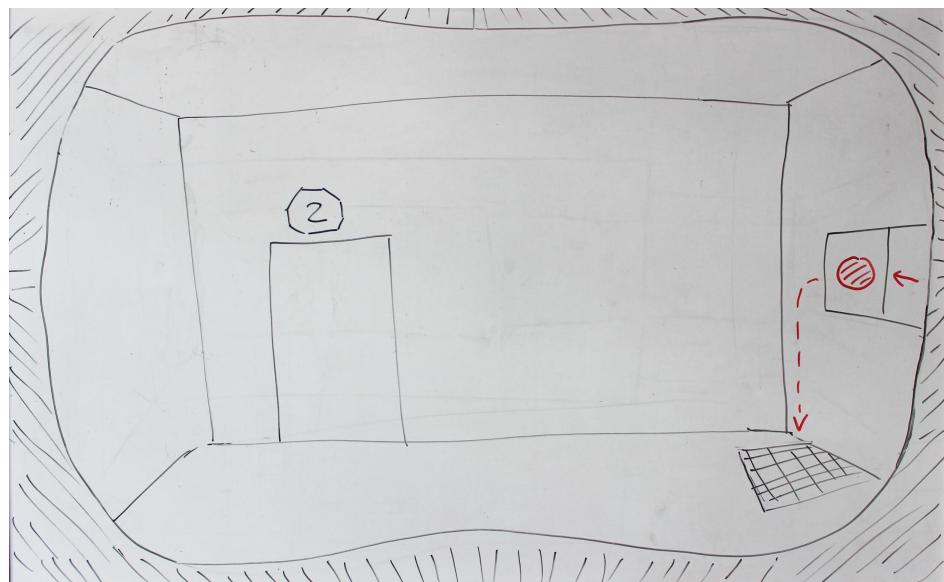
- **Fase 0**



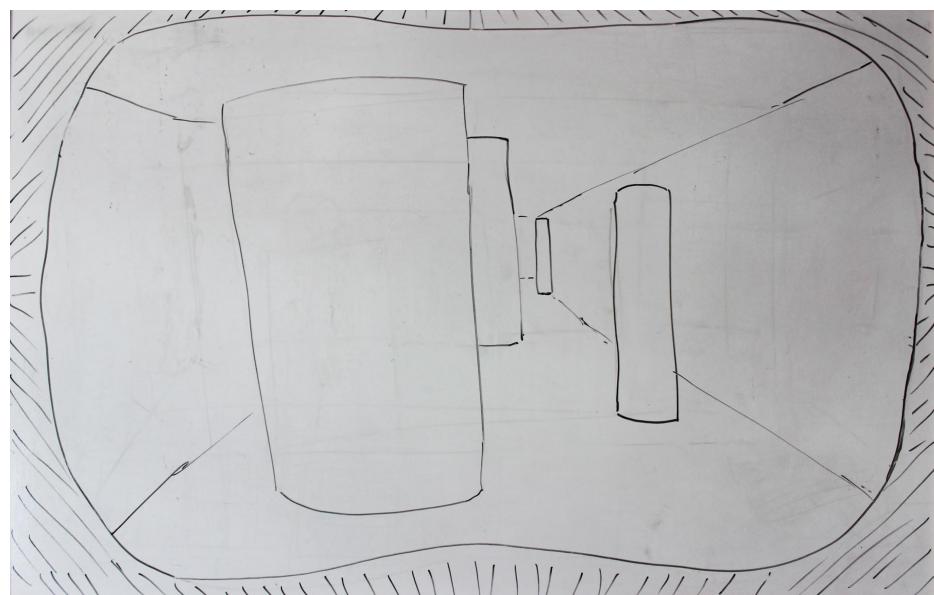
- **Fase 1: Inicio**



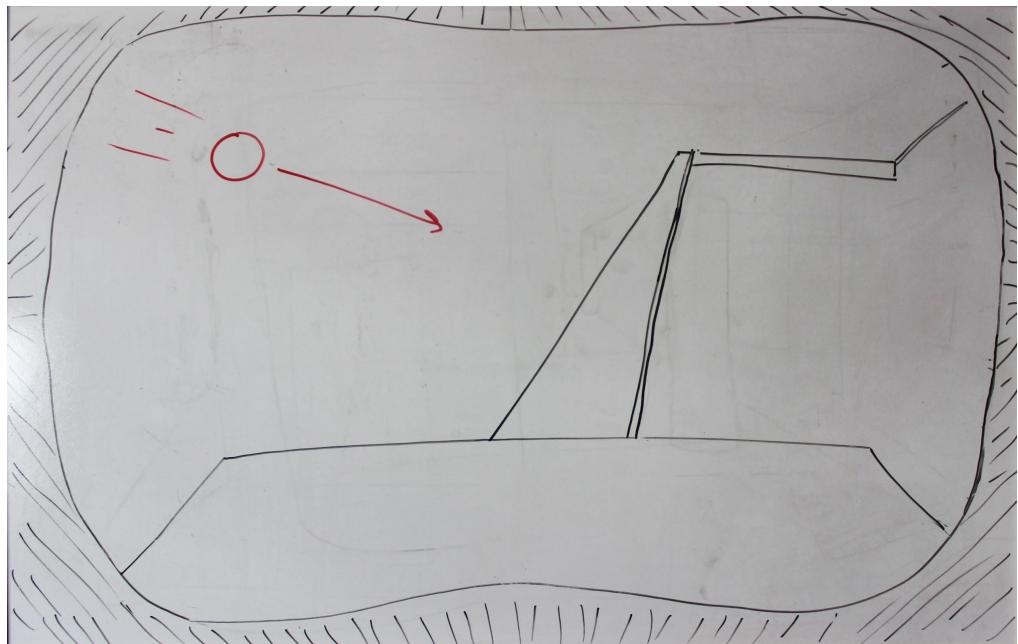
- Fase 1: Final



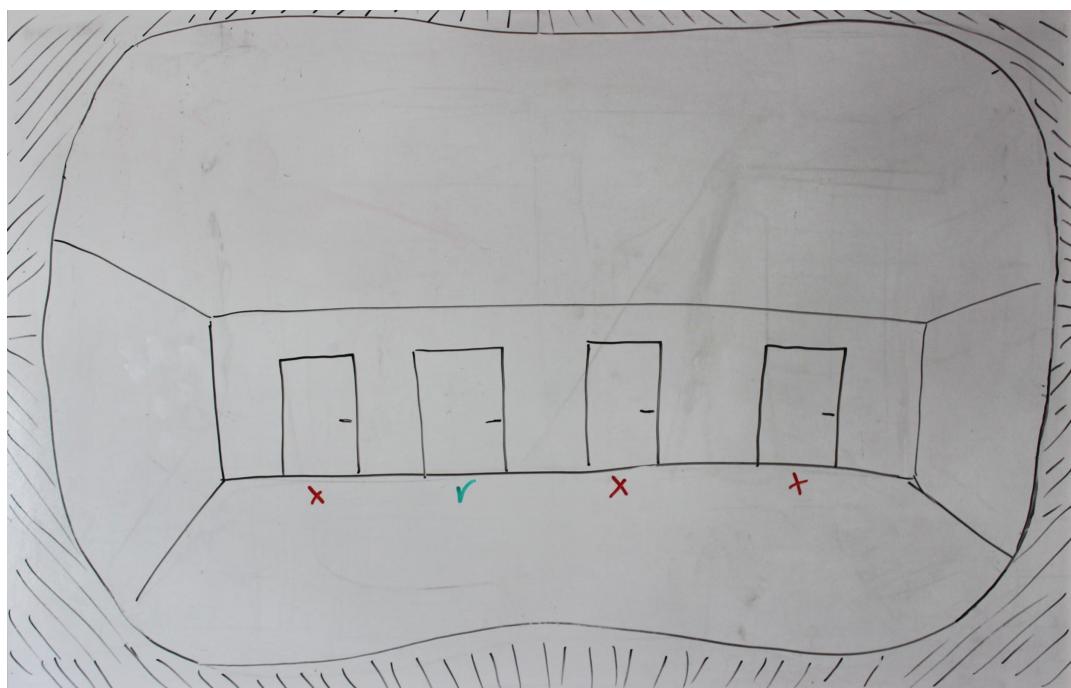
- Fase 2



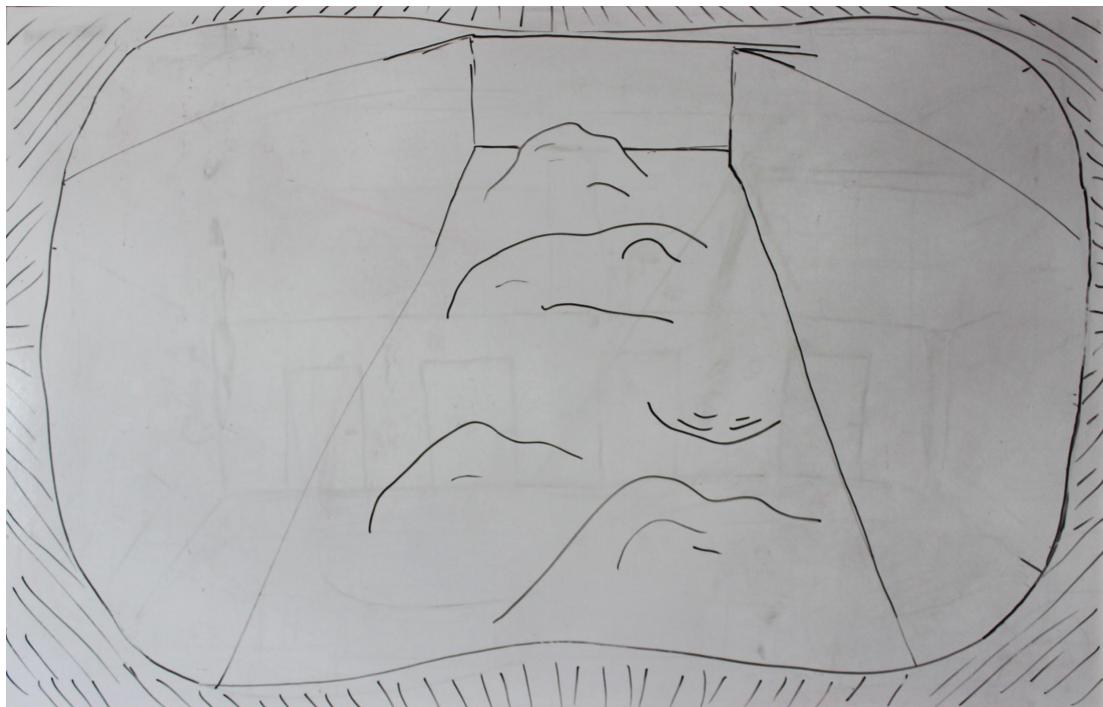
- Fase 4



- Fase 6



- **Fase 7**



7.2. Entrega 2: Implementación del circuito de velocidad en Unity

Esta entrega consistió en desarrollar la base de la gymkhana tal y como se indicó en los bocetos. El objetivo era tener toda la funcionalidad para poder realizar la prueba de velocidad en el circuito. Como no contaba con ninguna experiencia trabajando con Unity tuve que dedicarle unos días a realizar tutoriales para aprender la mayor parte de las funcionalidades de esta herramienta. Los tutoriales realizados fueron los proporcionados por la propia página de Unity [29]. Básicamente estos tutoriales me ayudaron a saber usar el modo edición de la herramienta, cómo funcionan los scripts, qué son los game objects, componentes y prefabs, etc.

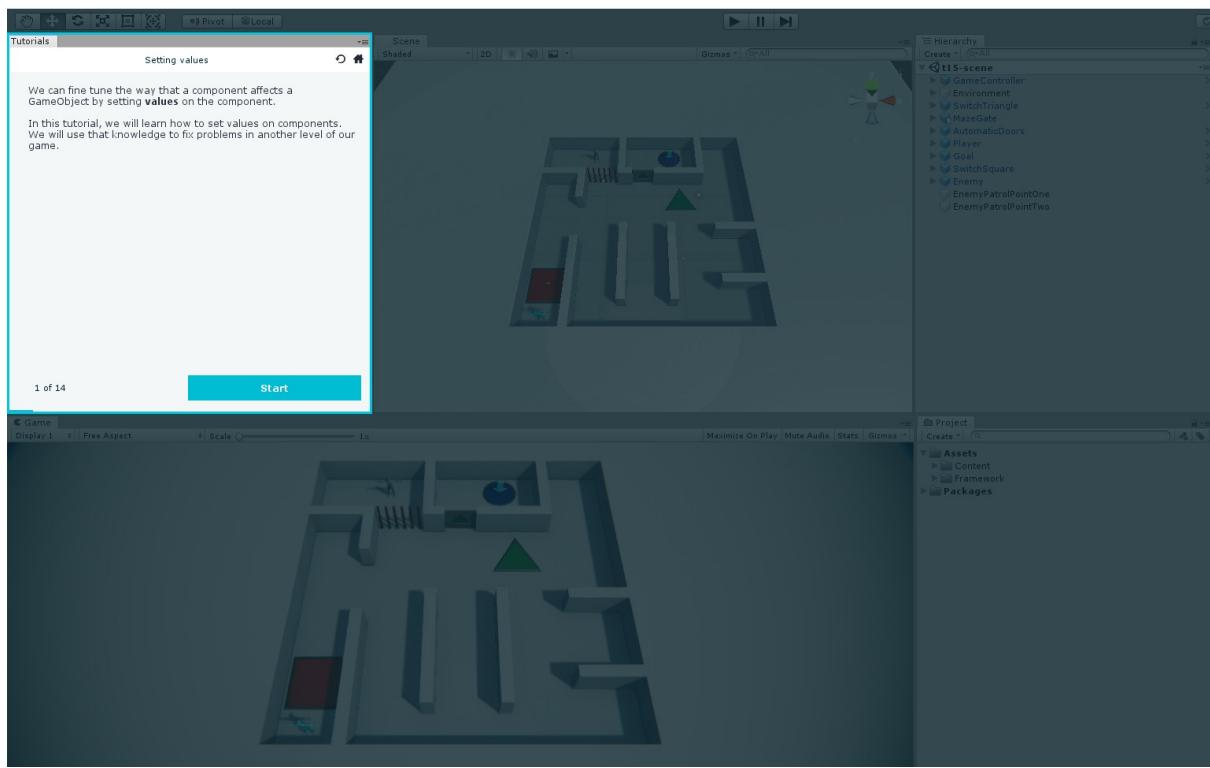


Figura 7.2.1: Tutorial de Unity

Una vez aprendí lo básico de Unity el siguiente paso fue aprender a usar la biblioteca VRTK. Esta biblioteca incluye numerosos scripts para hacer uso de un kit de realidad virtual en la escena creada de Unity y además incluir herramientas propias de los juegos de realidad virtual como por ejemplo métodos de desplazamiento o interacción. Para aprender a usarla seguí una serie de tutoriales en vídeo que proporcionan los propios creadores de VRTK [30]. Por otro lado la propia librería cuenta con escenas con algunos ejemplos ya hechos que sirvieron para comprender cómo funcionaba cada elemento de la librería y cómo interactuaba con los otros.

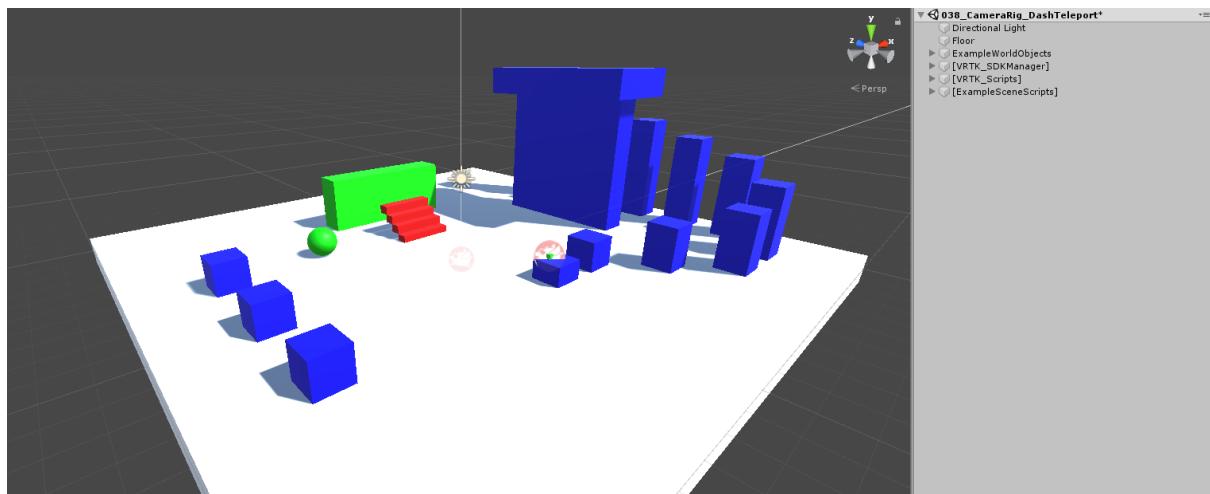


Figura 7.2.2: Ejemplo de escena de VRTK

Con las nociones básicas de Unity y VRTK comenzó el desarrollo de la gymkhana. Fue necesario hacer uso de la herramienta Blender para modelar algunos componentes que no era posible hacer con Unity.

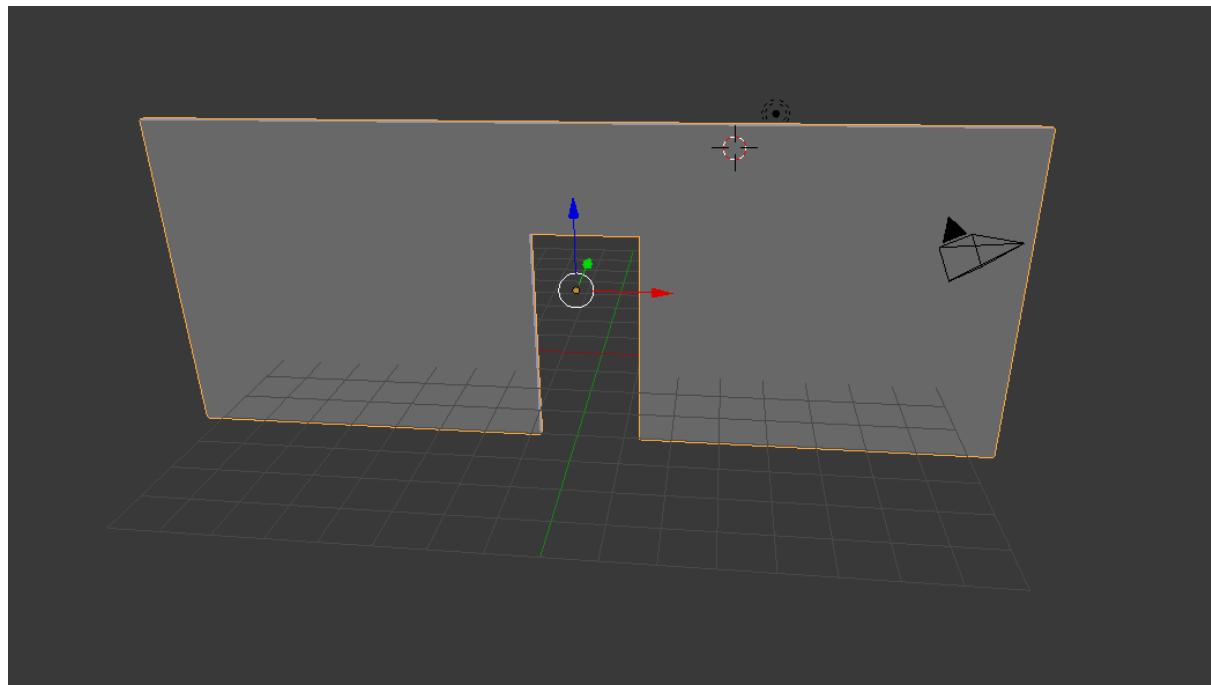


Figura 7.2.3: Modelo Blender de un muro con una puerta

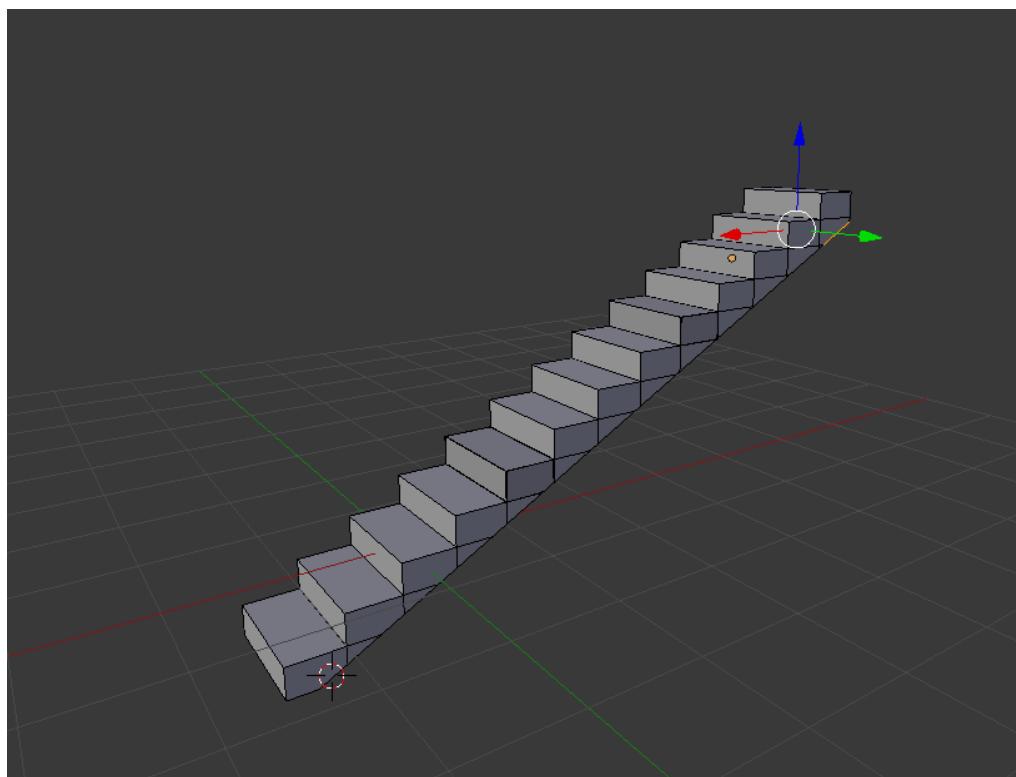


Figura 7.2.4: Modelo Blender de unas escaleras

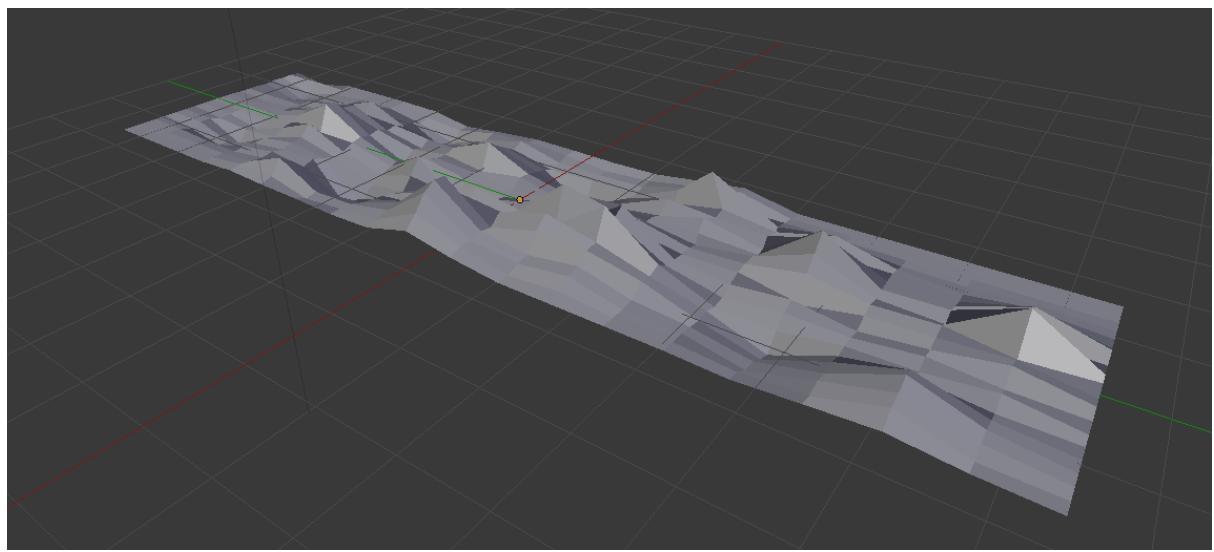


Figura 7.2.5: Modelo Blender de suelo irregular

En la siguiente imagen se muestra una vista de la gymkhana una vez terminadas todas las zonas. Se puede apreciar que algunos aspectos del diseño inicial cambiaron como por ejemplo no se realizaron escaleras de caracol ya que se consideró que alargaba demasiado el tiempo de realización de esa zona y no aportaba nada nuevo que una estructura de escaleras más simple. Por otro lado la zona 4 (desniveles) empieza en un punto distinto al planeado pero esto no es de mayor relevancia.

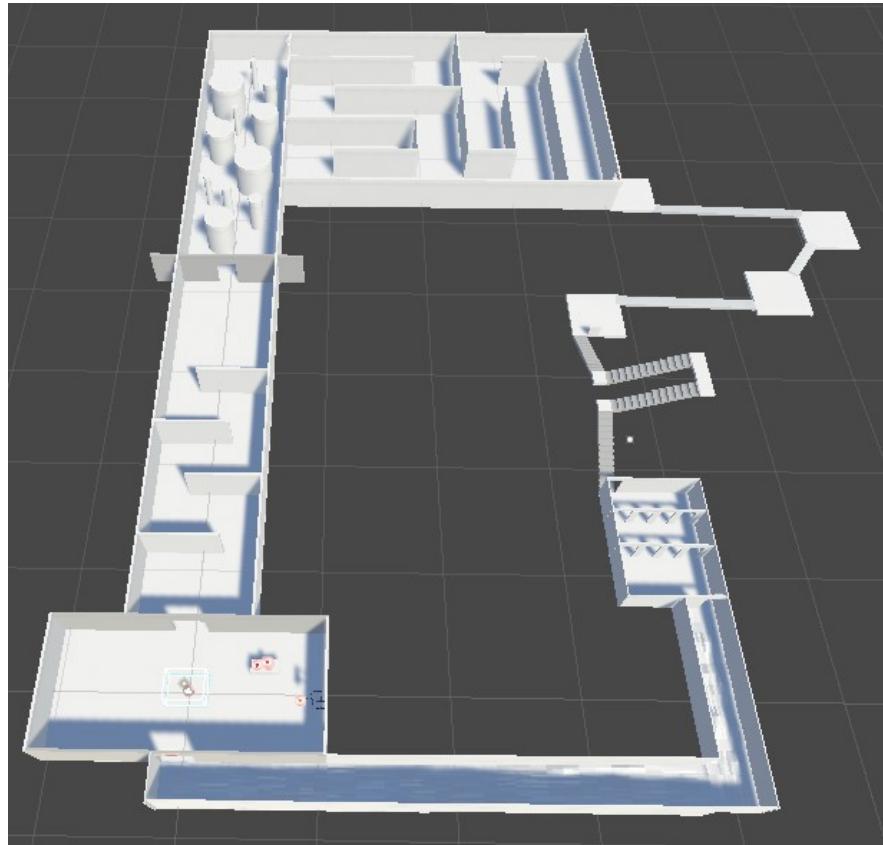


Figura 7.2.6: Vista de la gymkhana

Se diseñaron puertas para la zona 6 pero se decidió no incluirlas para no tener ningún elemento de interacción en la prueba de velocidad.

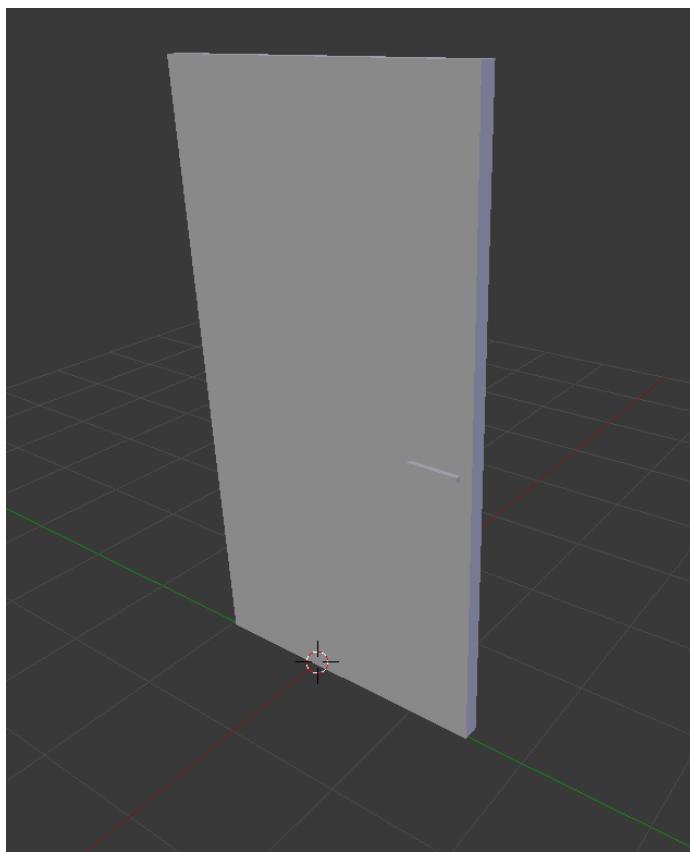


Figura 7.2.7: Modelo Blender de una puerta

A continuación se muestran imágenes de las zonas de la gymkhana para esta entrega en concreto.

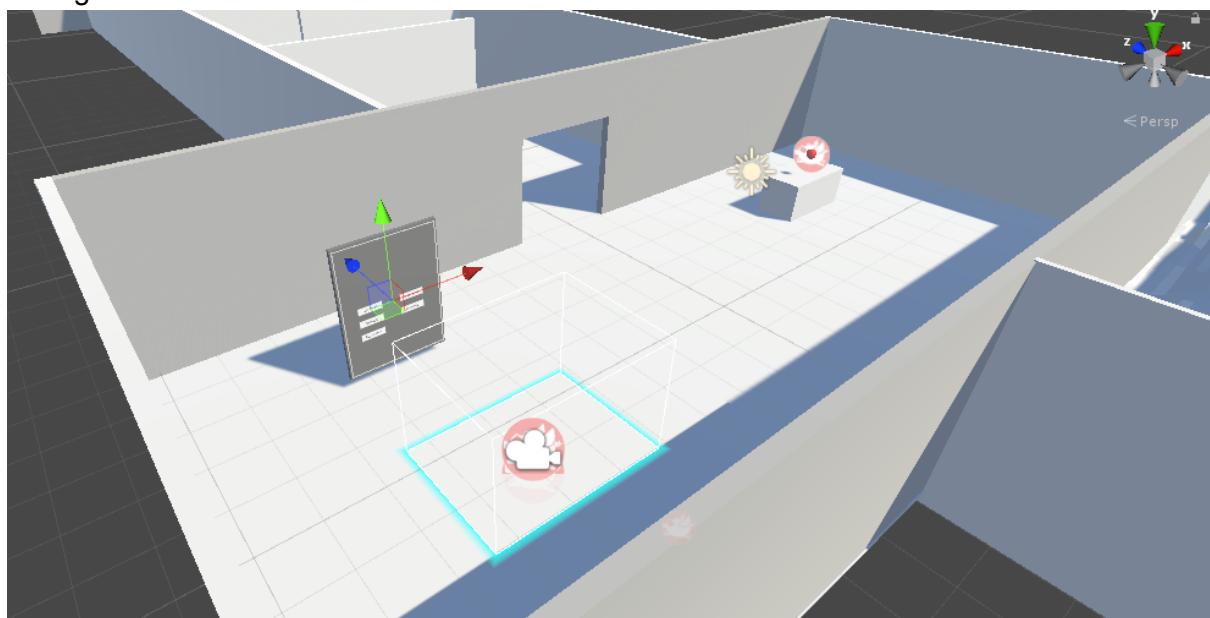


Figura 7.2.8: Zona 0

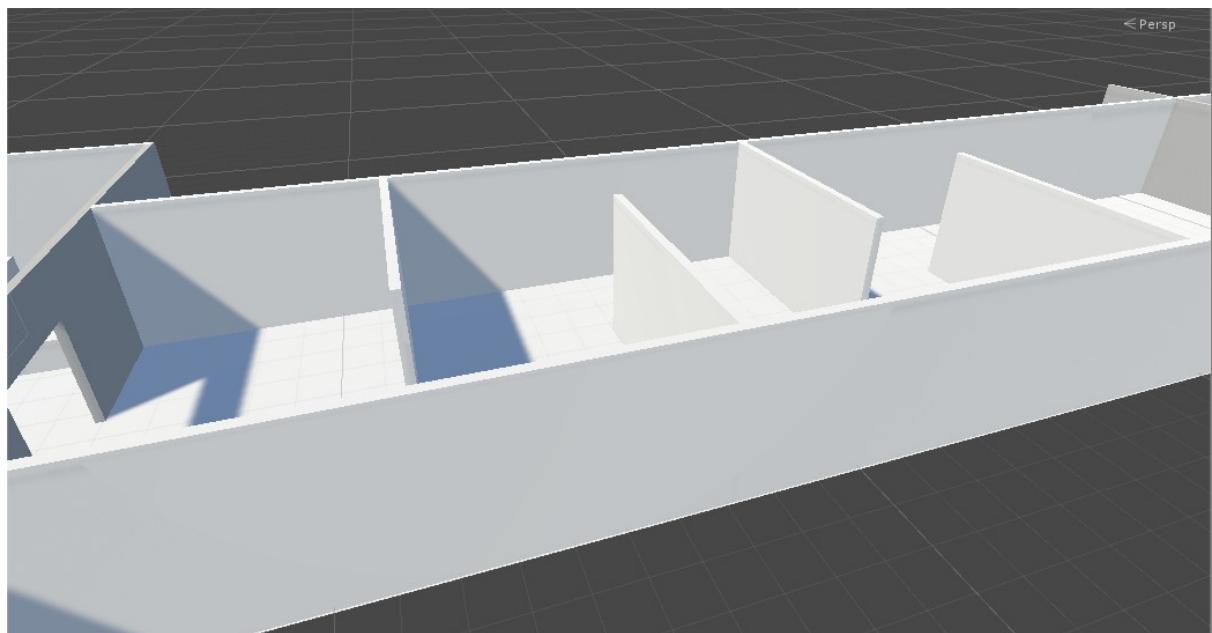


Figura 7.2.9: Zona 1

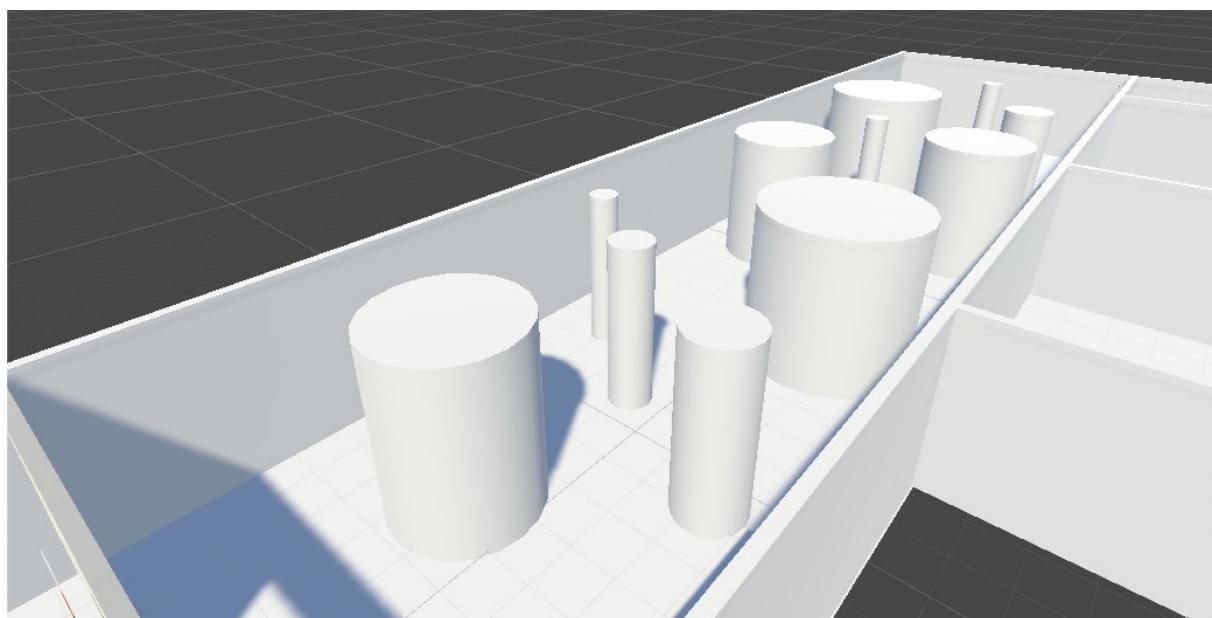


Figura 7.2.10: Zona 2

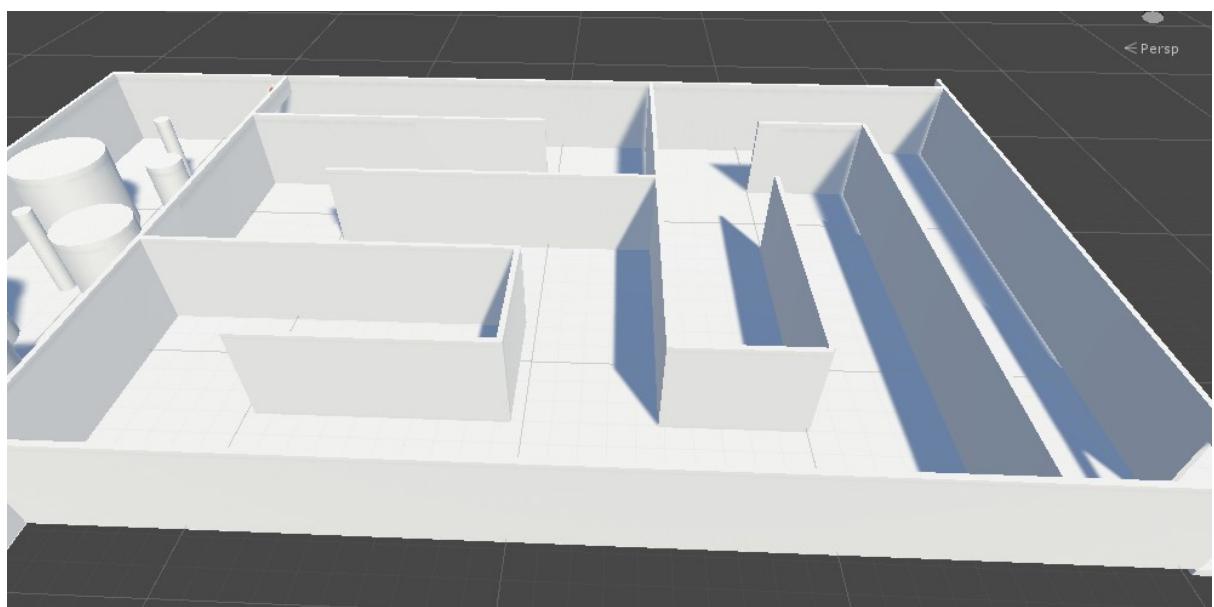


Figura 7.2.11: Zona 3

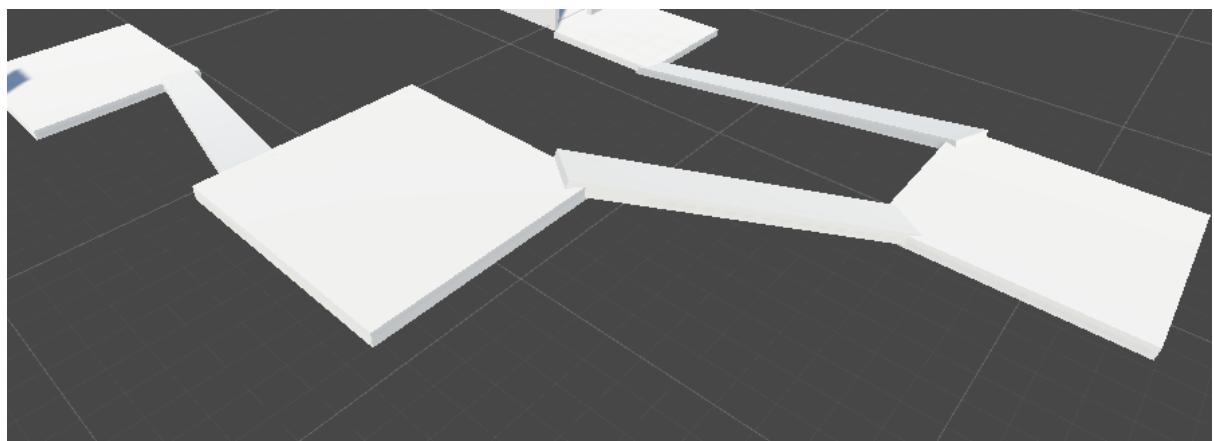


Figura 7.2.12: Zona 4

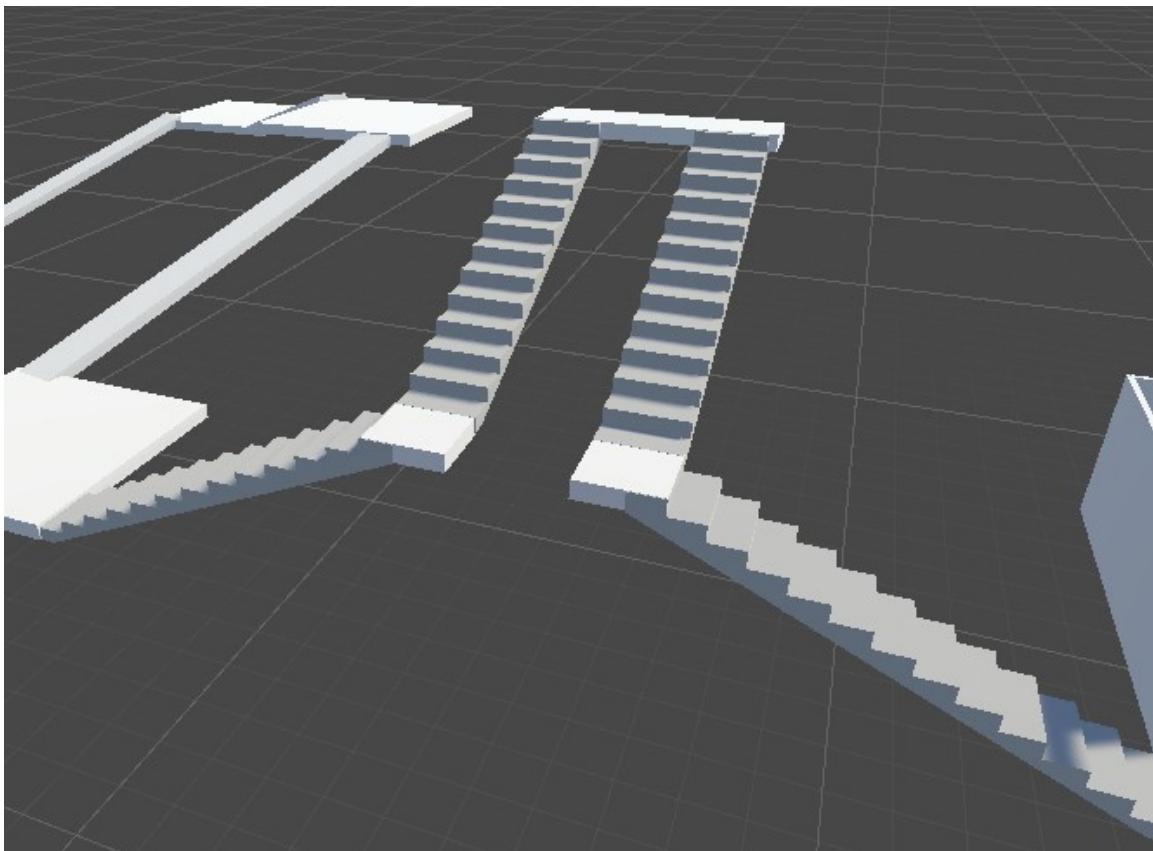


Figura 7.2.13: Zona 5

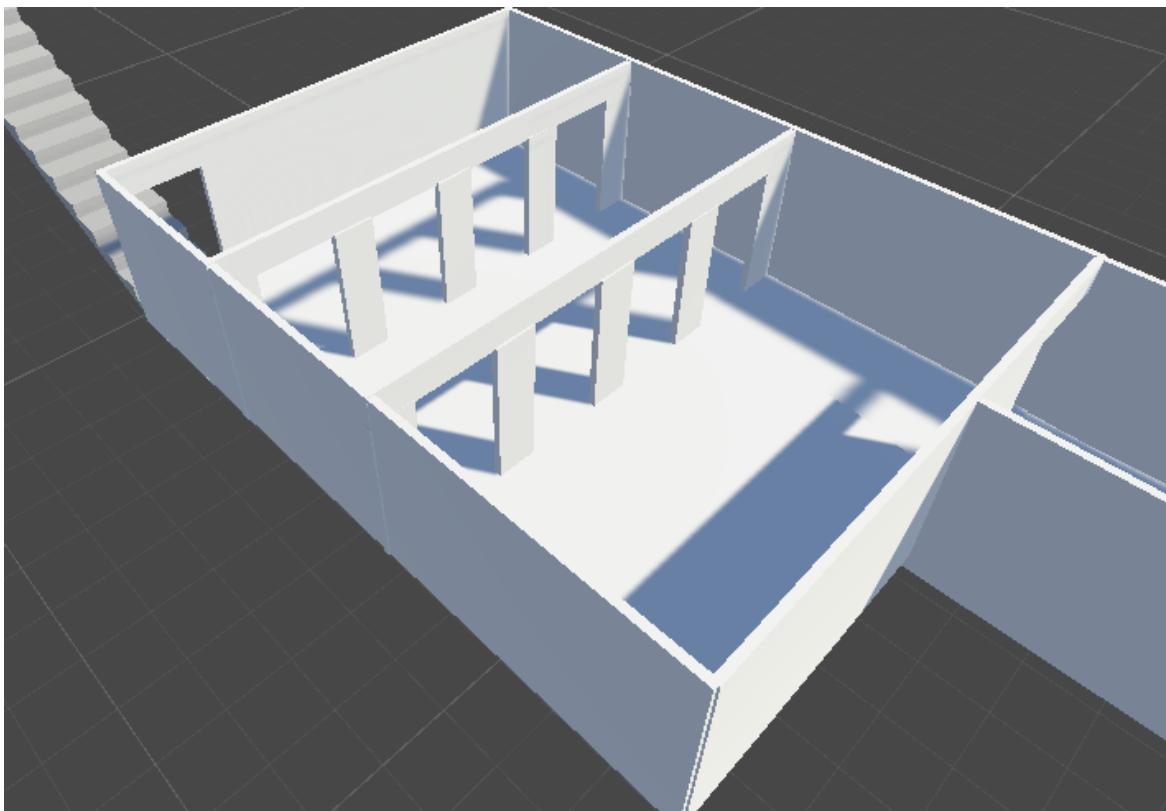


Figura 7.2.14: Zona 6

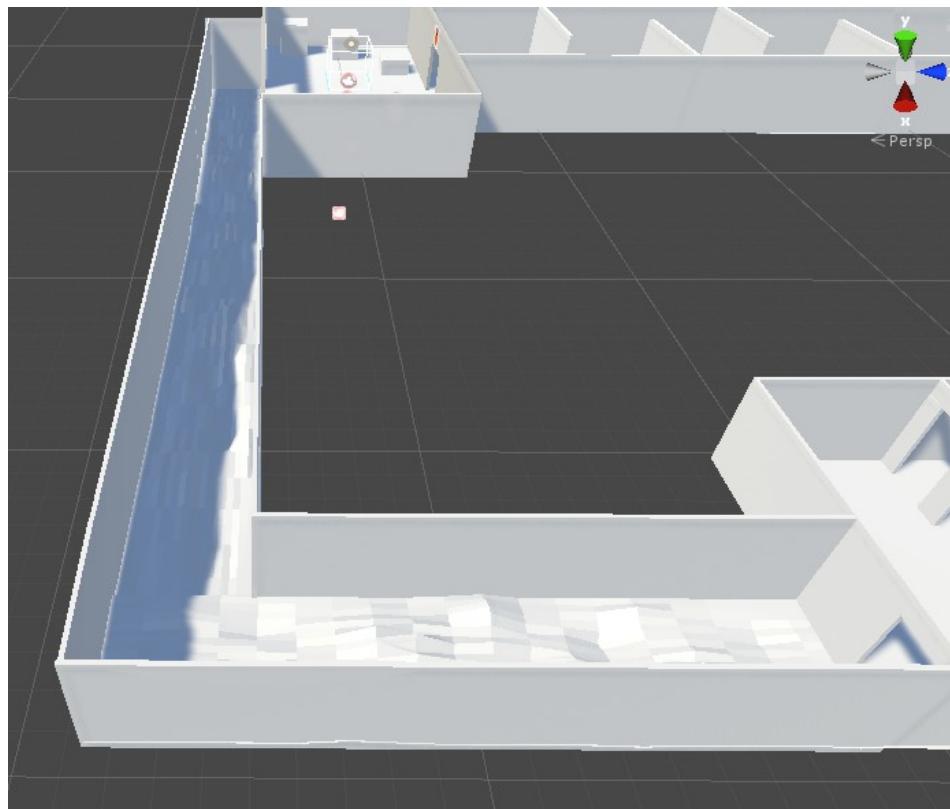


Figura 7.2.15: Zona 7

Los métodos de desplazamiento incluidos para esta entrega fueron el teletransporte básico, teletransporte con “dash” y arrastrar mundo. También se puede elegir el tipo de puntero entre una línea recta o una curva. Todo esto se podría seleccionar en un menú estático que aparecía al principio en la zona 0.

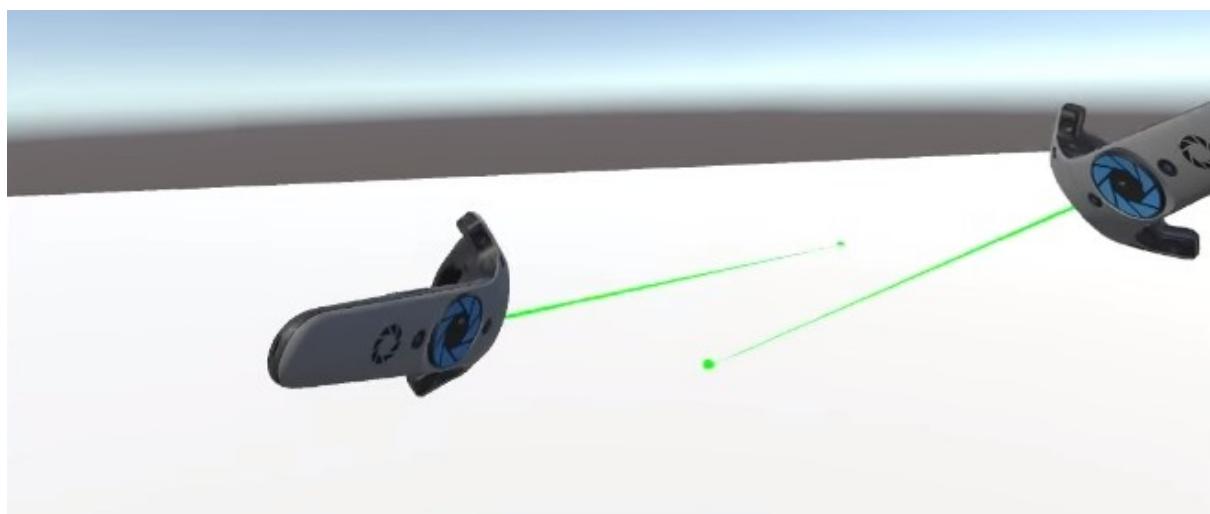


Figura 7.2.16: Puntero de línea recta

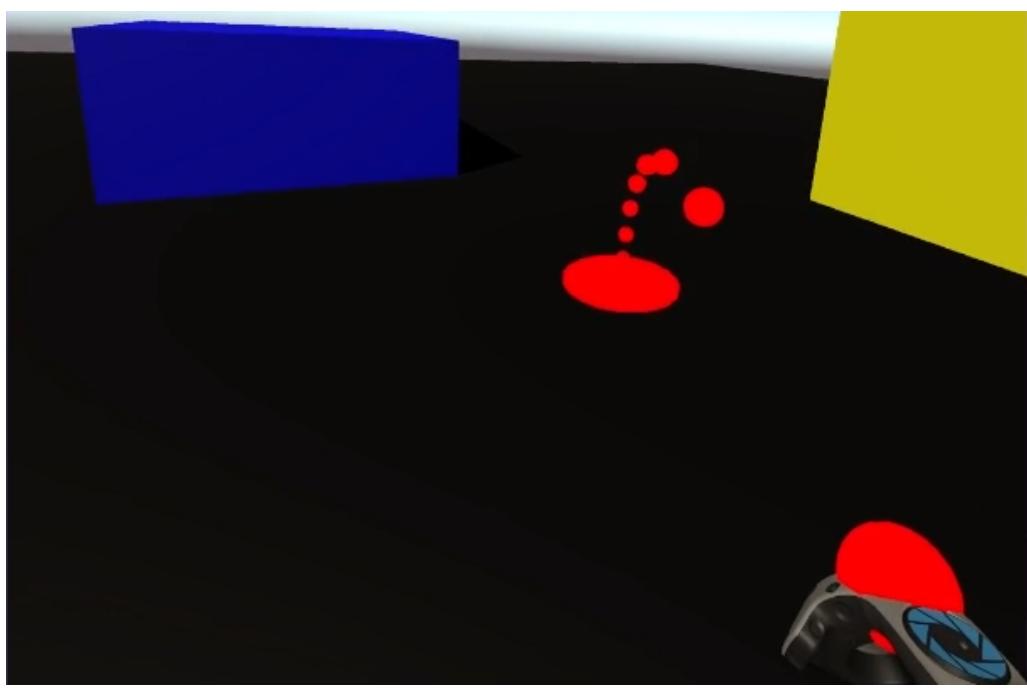


Figura 7.2.17: Puntero de línea curva

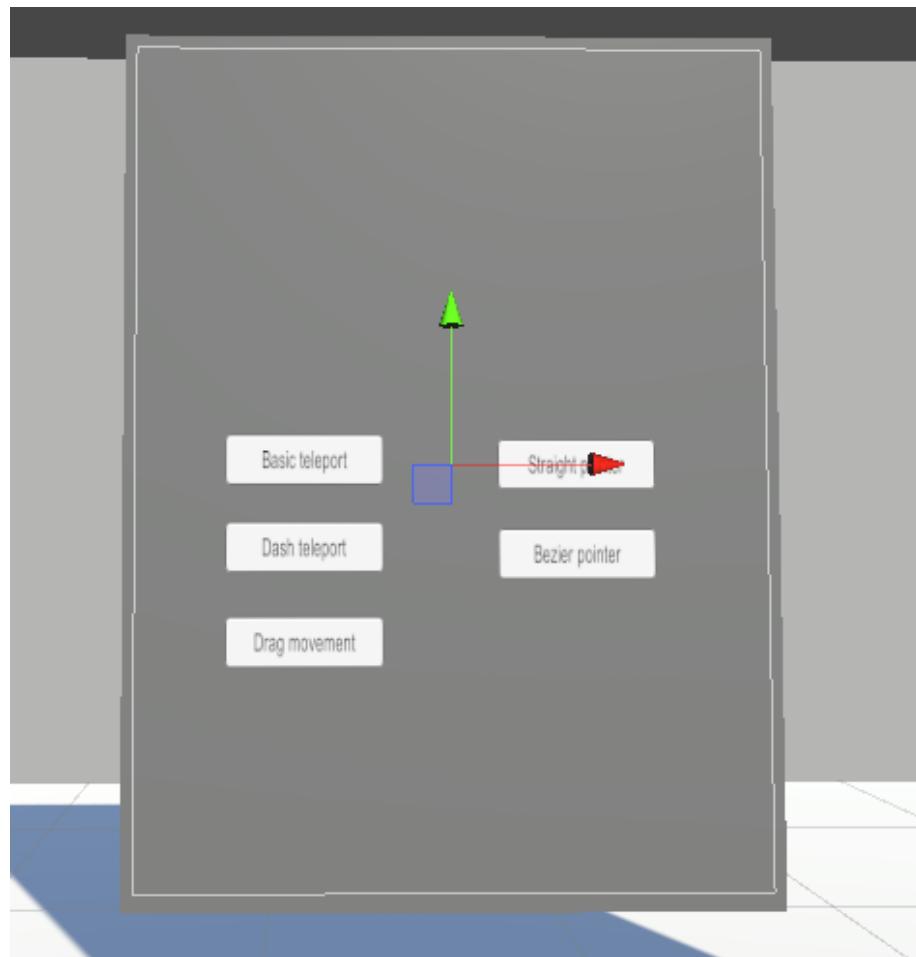


Figura 7.2.18: Menú estático para la entrega 1

Una vez terminado el desarrollo de la gymkhana para esta entrega fue necesario

implementar un método para poder medir los tiempos empleados en cada zona. El proceso para hacerlo consistió en añadir elementos invisibles al principio de cada prueba. Estos elementos servían para medir el tiempo cuando el jugador pasaba por ellos. De esta manera podemos medir el tiempo empleado en cada zona y el tiempo total. A continuación se muestra el código del script creado para medir el tiempo:

```
public class TimerSpeed : MonoBehaviour
{
    [Header("Zone 1")]
    public GameObject start1;
    [Header("Zone 2")]
    public GameObject start2;
    [Header("Zone 3")]
    public GameObject start3;
    [Header("Zone 4")]
    public GameObject start4;
    [Header("Zone 5")]
    public GameObject start5;
    [Header("Zone 6")]
    public GameObject start6;
    [Header("Zone 7")]
    public GameObject start7;
    public GameObject end7;

    [Header("Player")]
    public GameObject player;

    private bool[] inZones;
    private float[] times;

    //Trigger distance
    private float td = 3.0f;

    private float current_time;
    private float start_time;

    // Start is called before the first frame update
    void Start()
    {
        start_time = current_time = Time.time;
        inZones = new bool[] {true, false, false, false, false, false, false, false};
        times = new float[] {0.0f, 0.0f, 0.0f, 0.0f, 0.0f, 0.0f, 0.0f, 0.0f};
    }

    void OnEnable()
    {
        start_time = current_time = Time.time;
        inZones = new bool[] {true, false, false, false, false, false, false, false};
        times = new float[] {0.0f, 0.0f, 0.0f, 0.0f, 0.0f, 0.0f, 0.0f, 0.0f};
    }

    // Update is called once per frame
    void Update()
    {
        if (inZones[0]) {
            float dist = Vector3.Distance (player.transform.position, start1.transform.position);
```

```

        if (dist < td) {
            inZones [0] = false;
            inZones [1] = true;
            times [0] = (Time.time - current_time);
            current_time = Time.time;
            Debug.Log ("Tiempo en zona 0 = " + times [0]);
        }

    } else if (inZones [1]) {

        float dist = Vector3.Distance (player.transform.position, start2.transform.position);

        if (dist < td) {
            inZones [1] = false;
            inZones [2] = true;
            times [1] = (Time.time - current_time);
            current_time = Time.time;
            Debug.Log ("Tiempo en zona 1 = " + times [1]);
        }

    }

    else if (inZones [2]) {

        float dist = Vector3.Distance (player.transform.position, start3.transform.position);

        if (dist < td) {
            inZones [2] = false;
            inZones [3] = true;
            times [2] = (Time.time - current_time);
            current_time = Time.time;
            Debug.Log ("Tiempo en zona 2 = " + times [2]);
        }

    }

    else if (inZones [3]) {

        float dist = Vector3.Distance (player.transform.position, start4.transform.position);

        if (dist < td) {
            inZones [3] = false;
            inZones [4] = true;
            times [3] = (Time.time - current_time);
            current_time = Time.time;
            Debug.Log ("Tiempo en zona 3 = " + times [3]);
        }

    }

    else if (inZones [4]) {

        float dist = Vector3.Distance (player.transform.position, start5.transform.position);

        if (dist < td) {
            inZones [4] = false;
            inZones [5] = true;
            times [4] = (Time.time - current_time);
            current_time = Time.time;
            Debug.Log ("Tiempo en zona 4 = " + times [4]);
        }

    }

    else if (inZones [5]) {

        float dist = Vector3.Distance (player.transform.position, start6.transform.position);
    }
}

```

```

        if (dist < td) {
            inZones [5] = false;
            inZones [6] = true;
            times [5] = (Time.time - current_time);
            current_time = Time.time;
            Debug.Log ("Tiempo en zona 5 = " + times [5]);
        }

    }
    else if (inZones [6]) {

        float dist = Vector3.Distance (player.transform.position, start7.transform.position);

        if (dist < td) {
            inZones [6] = false;
            inZones [7] = true;
            times [6] = (Time.time - current_time);
            current_time = Time.time;
            Debug.Log ("Tiempo en zona 6 = " + times [6]);
        }

    }
    else if (inZones [7]) {

        float dist = Vector3.Distance (player.transform.position, end7.transform.position);

        if (dist < td) {
            inZones [7] = false;
            inZones [0] = true;
            times [7] = (Time.time - current_time);
            current_time = Time.time;
            Debug.Log ("Tiempo en zona 7 = " + times [7]);
            Debug.Log ("TIEMPO TOTAL = " + (Time.time - start_time));
        }

    }

}

```

Los scripts de Unity consisten en una clase cuyos atributos públicos son parámetros de entrada en el propio editor. Todos los scripts tienen un método *Start()* que se llama al principio de iniciar el juego y es donde se realizan todas las tareas necesarias de inicialización de variables. Para este script se hace el uso del método *Update()* que se llama en cada frame del juego. Este script comprueba en cada frame si el usuario se encuentra en una de las posiciones que indican el final de zona para actualizar el tiempo tardado y mostrarlo por consola. En la siguiente imagen se ve cómo aparece el script en Unity al ser aplicado a un Game Object. Se puede ver cómo se le han pasado como parámetros unos Game Objects que se han puesto al final de cada zona.

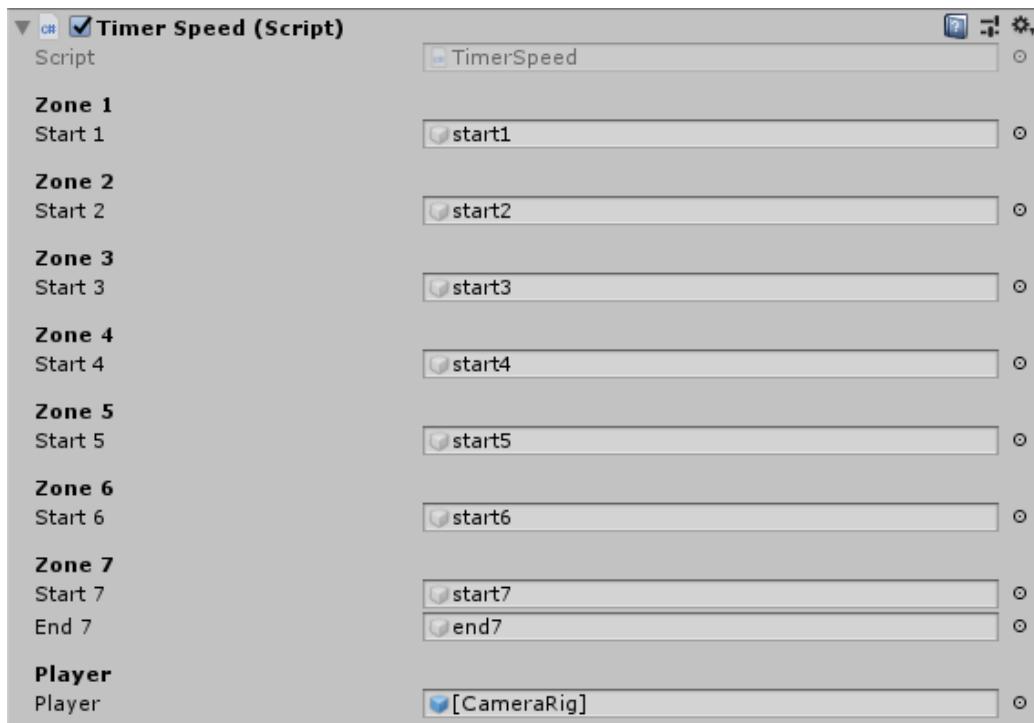


Figura 7.2.19: Script de medición de tiempo

7.3. Entrega 3: Implementación del circuito de interacción en Unity

Para esta entrega se crearon todos los elementos y toda la funcionalidad necesaria para incluir tareas de interacción en la gymkhana. Las tareas de interacción incluidas fueron las siguientes:

- **Zona 1:** Coger una esfera y colocarla en una pendiente. El objetivo es llegar al final de la zona antes de que la esfera llegue al final de la pendiente. Con esto se pretende ver cómo afecta al método de desplazamiento el hecho de tener un objeto cogido en la mano y por otro lado, ver cómo influye cierta presión sobre el usuario por terminar una tarea a tiempo.

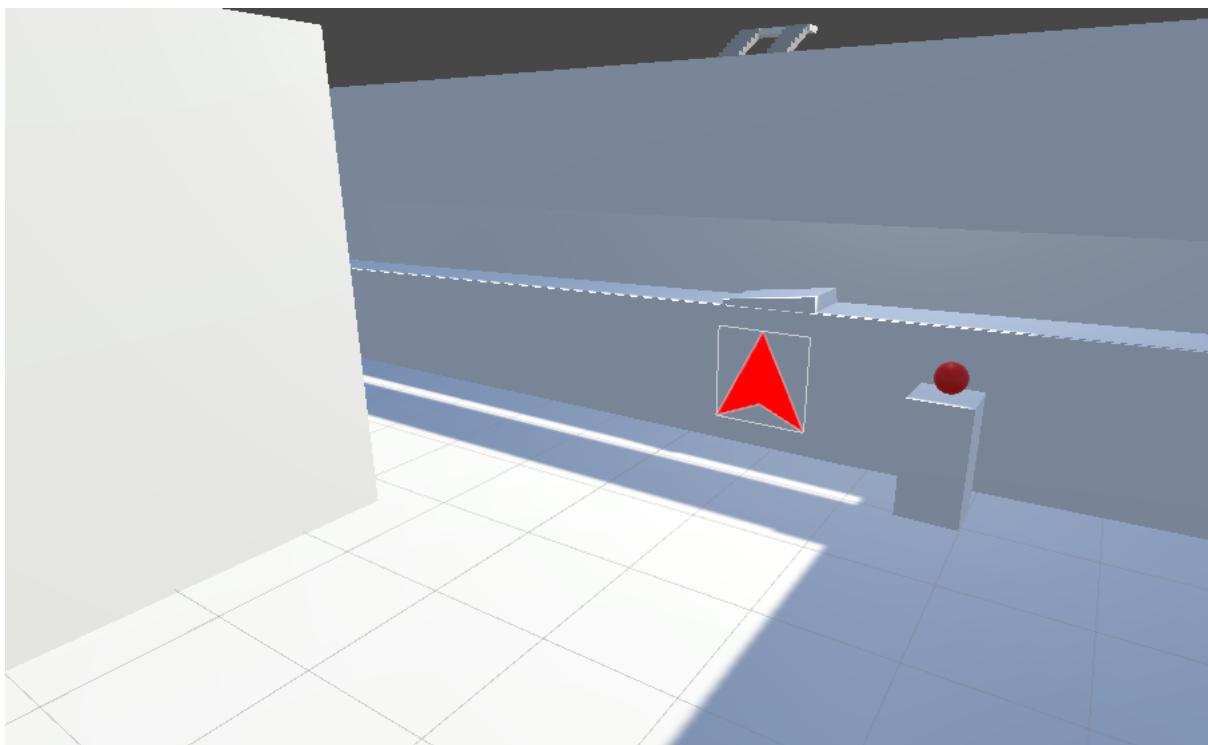


Figura 7.3.1: Comienzo interacción en zona 1

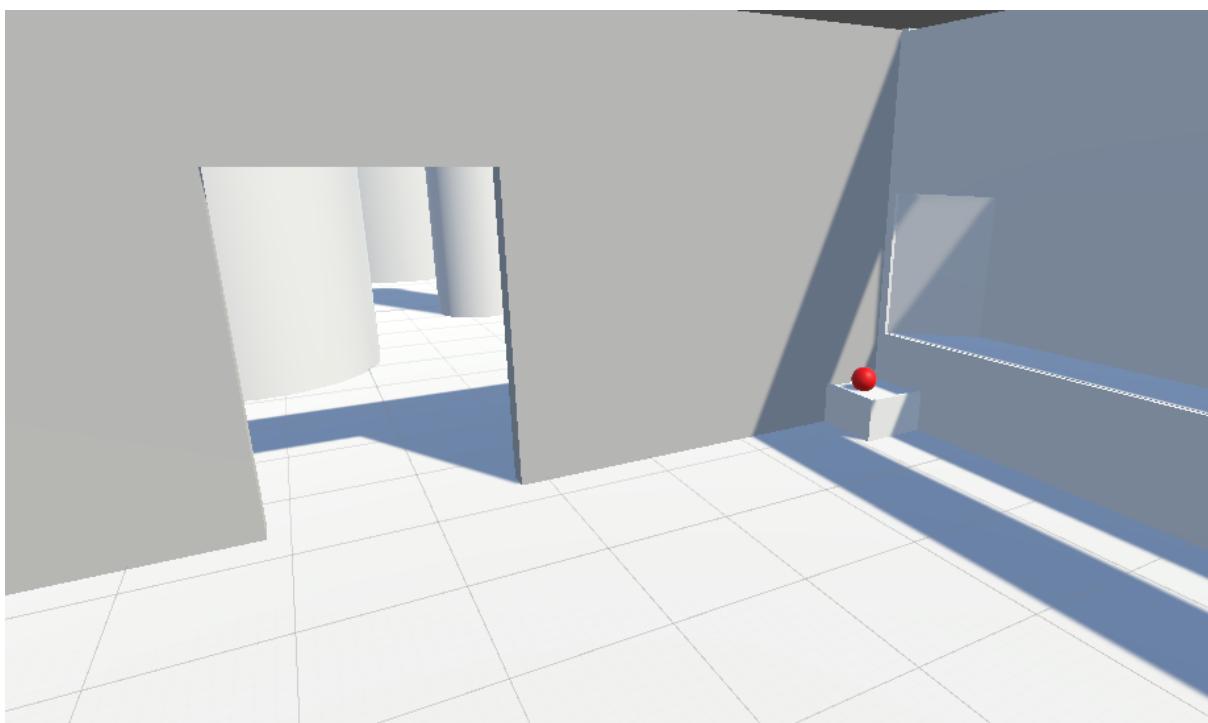


Figura 7.3.2: Final interacción en zona 1

- **Zona 3:** En el laberinto se ha introducido la funcionalidad para medir la orientación del usuario. El usuario cuando llega al final tiene que apuntar al principio del laberinto y con una fórmula se calcula su precisión para así comprobar su orientación.

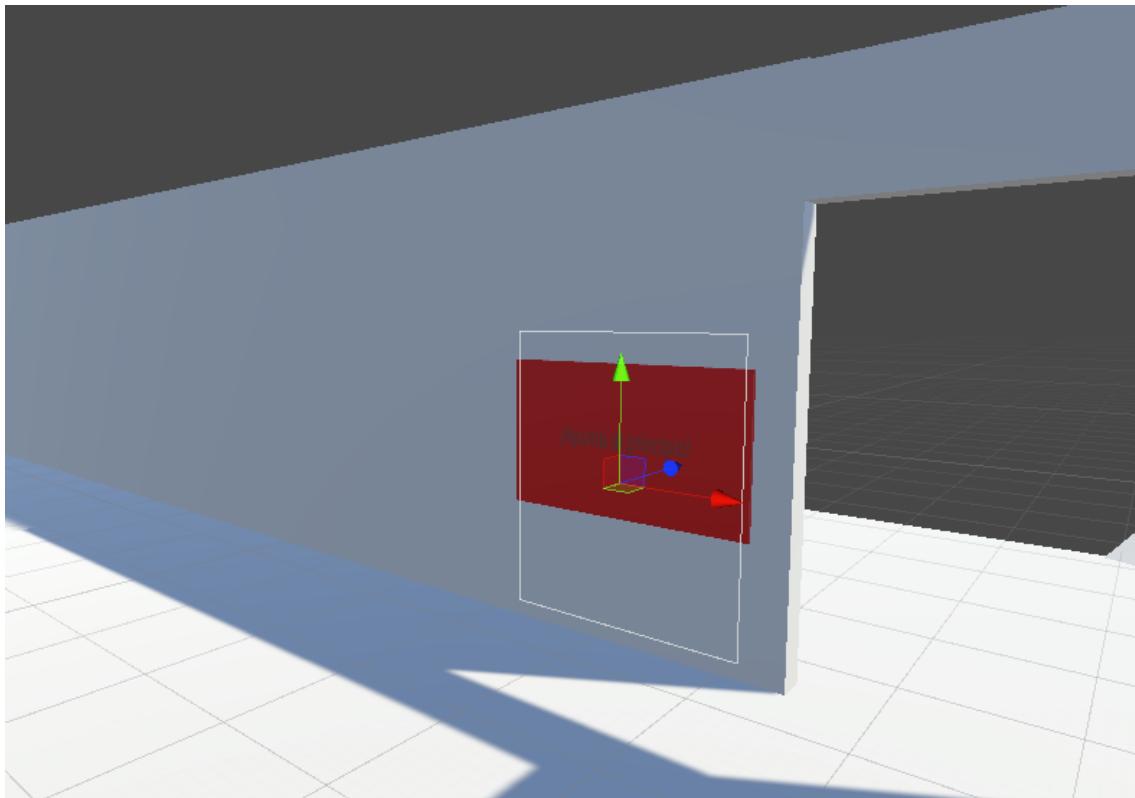


Figura 7.3.3: Interacción en zona 3

El script desarrollado para calcular la precisión de la orientación en la zona 3 es el siguiente:

```
public class InteractionZone3 : MonoBehaviour
{
    [Header("Player")]
    public GameObject player;
    [Header("Start point")]
    public GameObject start;
    [Header("Finish point")]
    public GameObject end;

    private double alfa = 0.0f;

    // Start is called before the first frame update
    void Start()
    {
        float x1 = start.transform.position[0];
        float z1 = start.transform.position[2];

        float x2 = player.transform.position[0];
```

```

float z2 = player.transform.position[2];

float a = Math.Abs(x2 - x1);
float c = Math.Abs(z2 - z1);

alfa = Math.Atan(a / c);
alfa = alfa * (180.0 / Math.PI);
alfa += 270;

}

public void checkOrientation()
{
    float dist = Vector3.Distance(player.transform.position, end.transform.position);

    if(dist < 3.0f)
    {
        Transform child = player.transform.Find("Controller (right)");
        double beta = child.rotation.eulerAngles[1];

        if (beta > 270) {
            double error = Math.Abs (alfa - beta);

            double precision = ((error * -100) / 50) + 100;
            Debug.Log ("Precision en zona 3 = " + precision + "%");
        } else
            Debug.Log ("Mala precisión (angulo = " + beta + " )");
    }
}

```

El funcionamiento es el siguiente, se usa un controlador de eventos para los botones de los controladores. Cuando se pulsa el botón indicado del controlador, se comprueba si el usuario se encuentra en la posición válida (el game object *end*), si es así, se ejecuta la función *checkOrientation()* que imprime por consola la precisión.

El algoritmo que mide la precisión consiste en calcular el ángulo Alfa que existe entre la posición del jugador (círculo verde) y el comienzo del laberinto (círculo rojo). Por último se comprueba el ángulo global que tiene el controlador al pulsar el botón (beta) y se realiza una comparación entre ambos ángulos. Los ángulos alfa y beta usan distintos ejes de coordenadas por lo que es necesario realizar algunos cálculos como por ejemplo sumarle 270 grados a alfa.

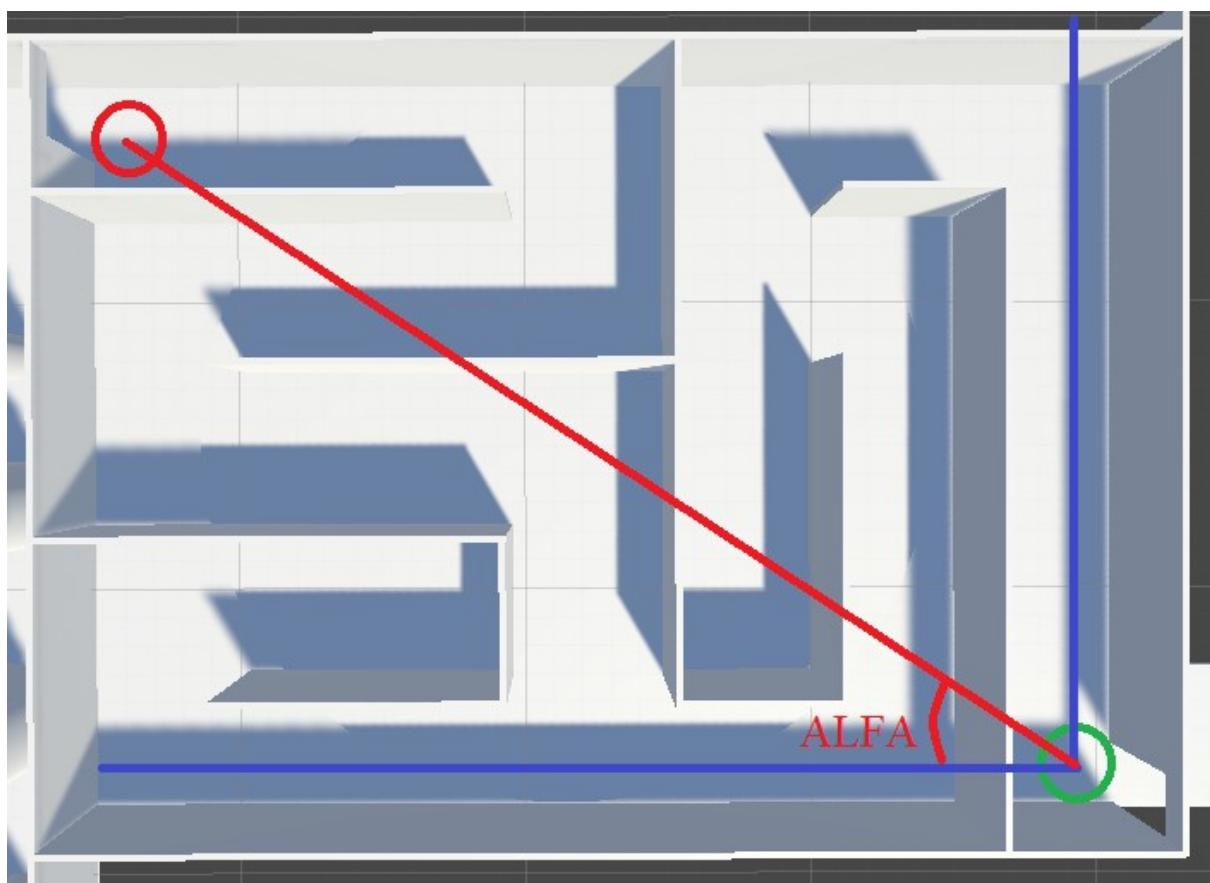


Figura 7.3.4: Cálculo del ángulo en zona 3

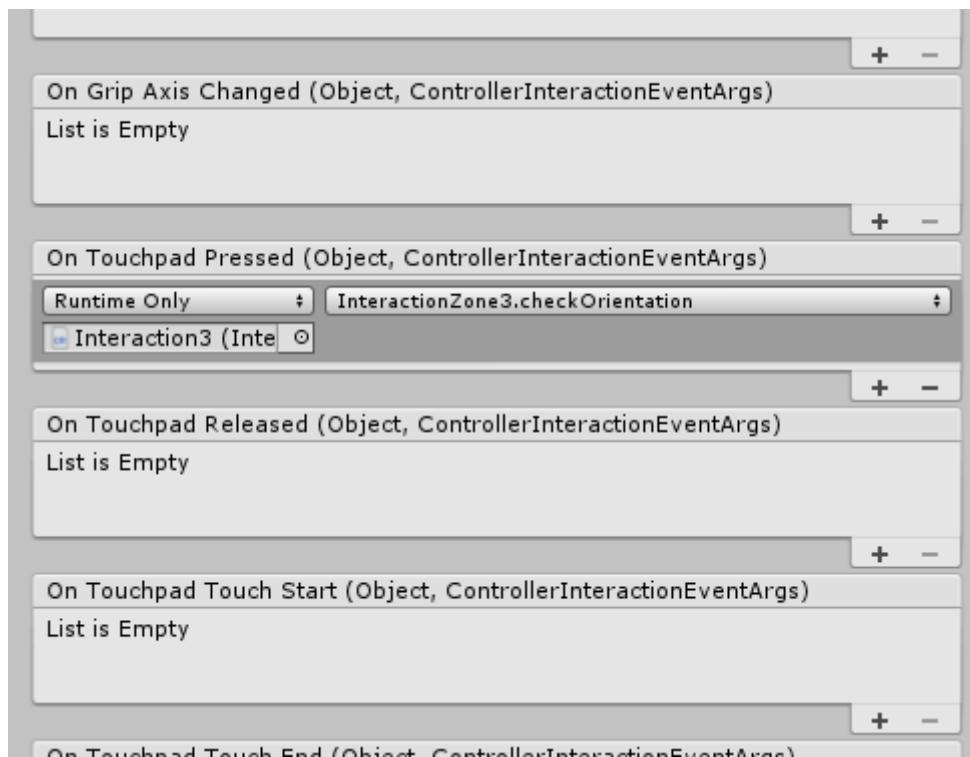


Figura 7.3.5: Controlador de eventos del controlador

- **Zona 4:** La interacción en esta zona consiste en situarse en unas zonas rojas e intentar coger unas bolas que serán lanzadas al usuario.

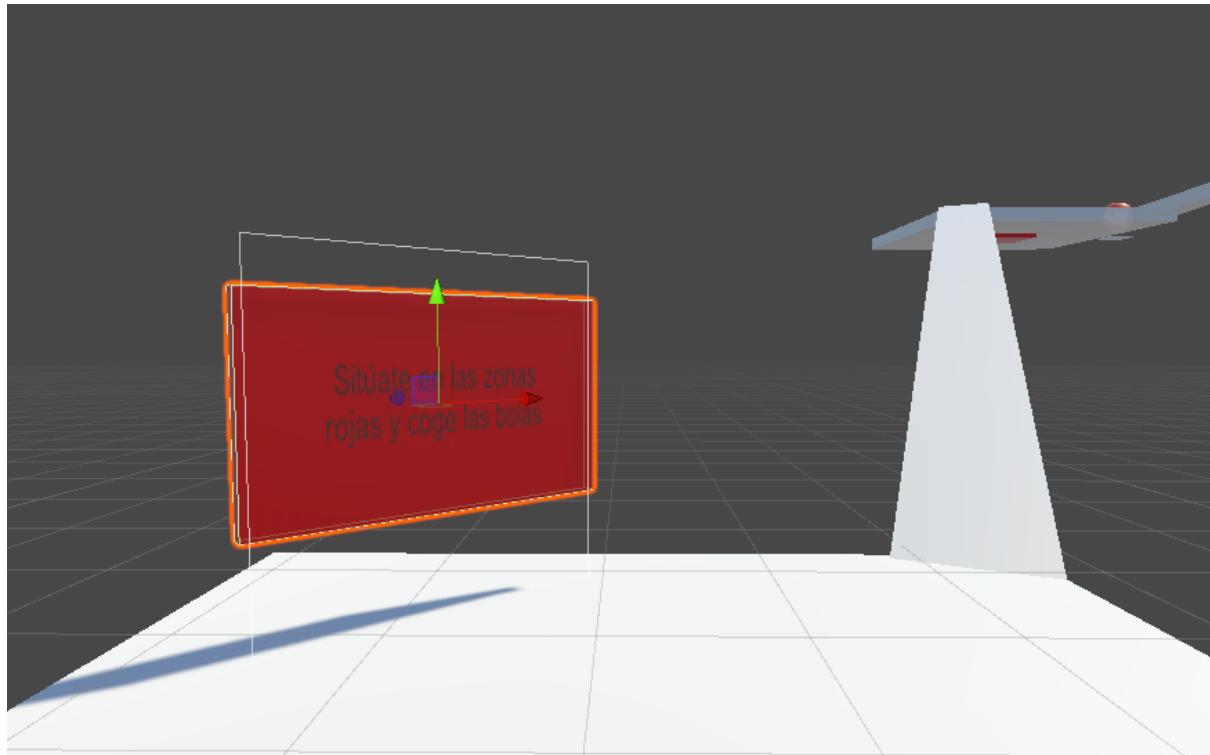


Figura 7.3.6: Comienzo interacción en zona 4

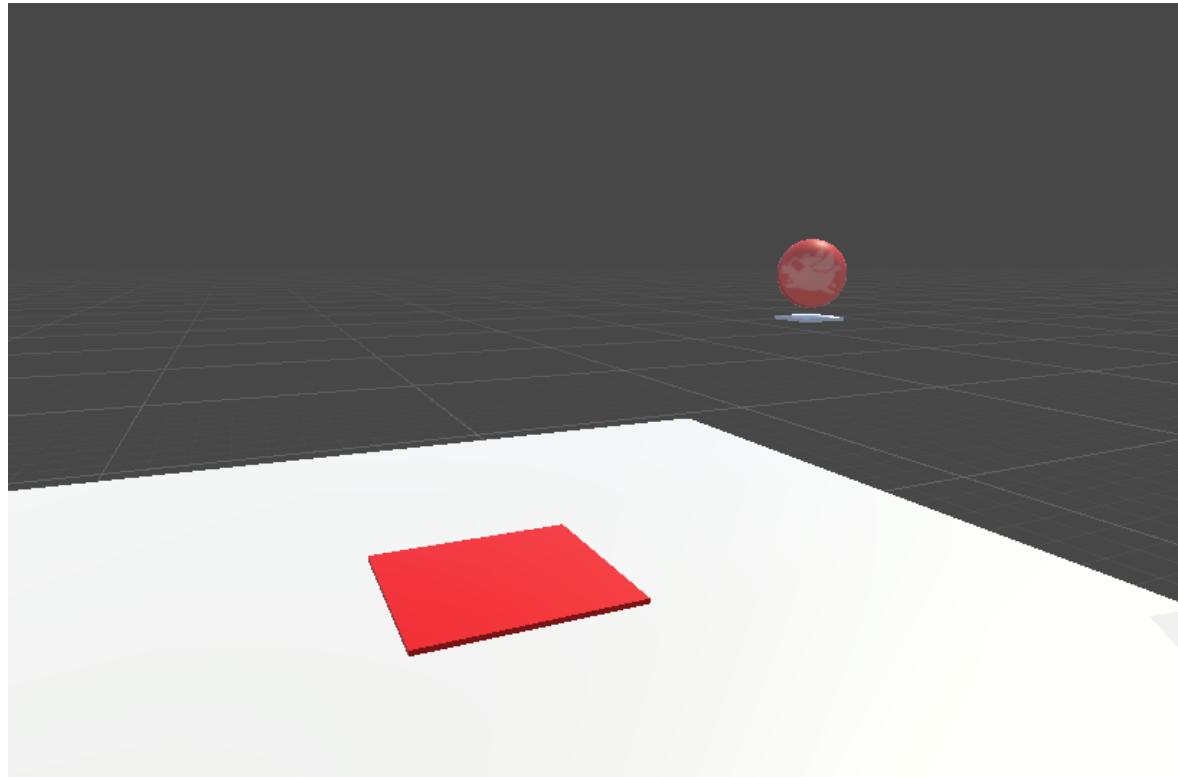


Figura 7.3.7: Interacción en zona 4

El script desarrollado para esta interacción calcula un ángulo y velocidad de lanzamiento para que la bola describa una parábola en su trayectoria y acabe en la posición del usuario para que la pueda agarrar.

```
public class Projectile : MonoBehaviour
{
    public GameObject trigger;
    public GameObject player;

    private Rigidbody rb;
    private bool flying;

    // Start is called before the first frame update
    void Start()
    {
        rb = GetComponent<Rigidbody> ();
        flying = false;
    }

    // Update is called once per frame
    void Update()
    {
        float dist = Vector3.Distance(player.transform.position, trigger.transform.position);
        if (dist < 1.0f && !flying) {
            rb.velocity = BallisticVel (player.transform, 60.0f);
            flying = true;
        }
    }

    private Vector3 BallisticVel (Transform target, float angle) {
        var dir = target.position - transform.position; // get target direction
        var h = dir.y; // get height difference
        dir.y = 0; // retain only the horizontal direction
        var dist = dir.magnitude ; // get horizontal distance
        var a = angle * Mathf.Deg2Rad; // convert angle to radians
        dir.y = dist * Mathf.Tan(a); // set dir to the elevation angle
        dist += h / Mathf.Tan(a); // correct for small height differences
        // calculate the velocity magnitude
        var vel = Mathf.Sqrt(dist * Physics.gravity.magnitude / Mathf.Sin(2 * a));
        return vel * dir.normalized;
    }
}
```

- **Zona 6:** En la zona 6 para la fase de interacción aparecen dos filas de puertas. En cada fila solo se puede abrir una puerta. Las puertas que no se pueden abrir estarán bloqueadas y se pondrán de color rojo al entrar en contacto con el controlador. Las puertas que se pueden abrir el usuario podrá agarrarlas como cualquier otro objeto y se pondrán de color azul al colisionar con el controlador.

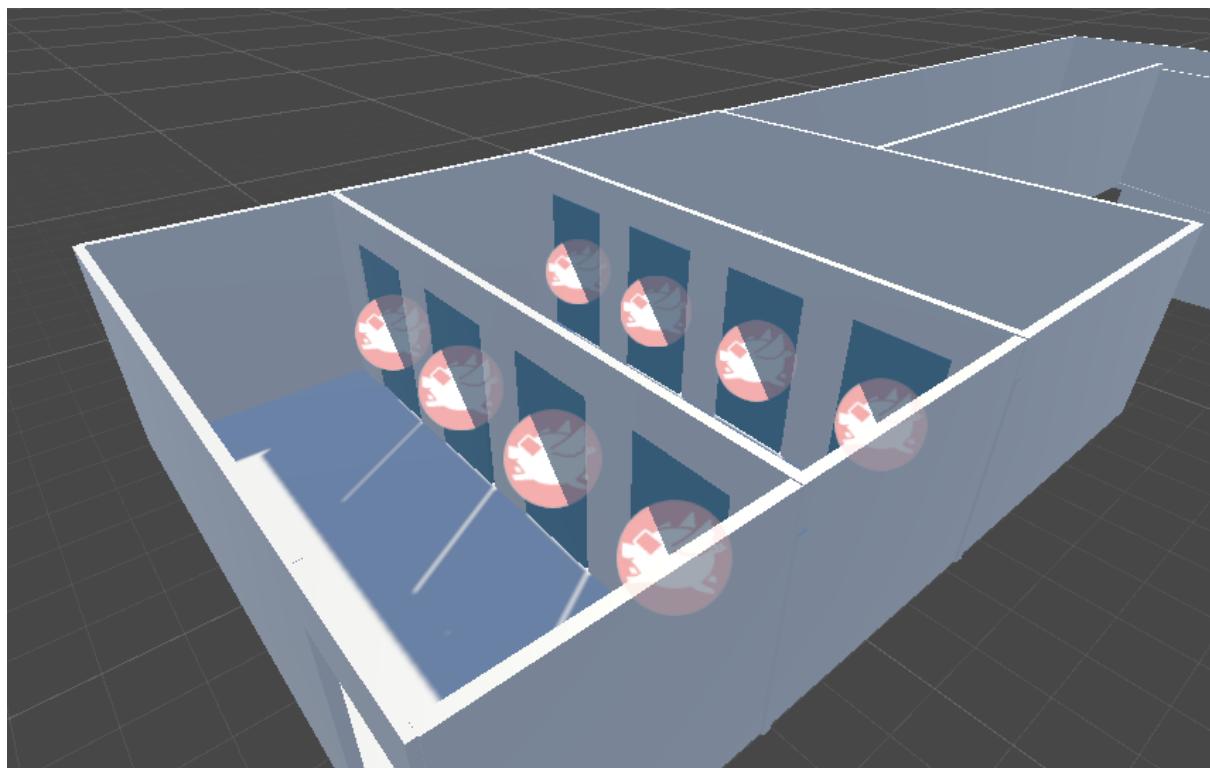


Figura 7.3.8: Interacción en zona 6

Todas las pruebas de interacción se cronometran con el mismo script usado para las pruebas de velocidad. Además se han incluido unas ayudas por todo el circuito que pueden ser activadas o desactivadas por el usuario a su antojo en el menú. Las ayudas consisten en flechas verdes que indican la dirección que debe seguir el usuario. Se decidió incluirlas porque tras unas pequeñas pruebas con usuarios se vio que en ciertas ocasiones no sabían en qué dirección seguir.

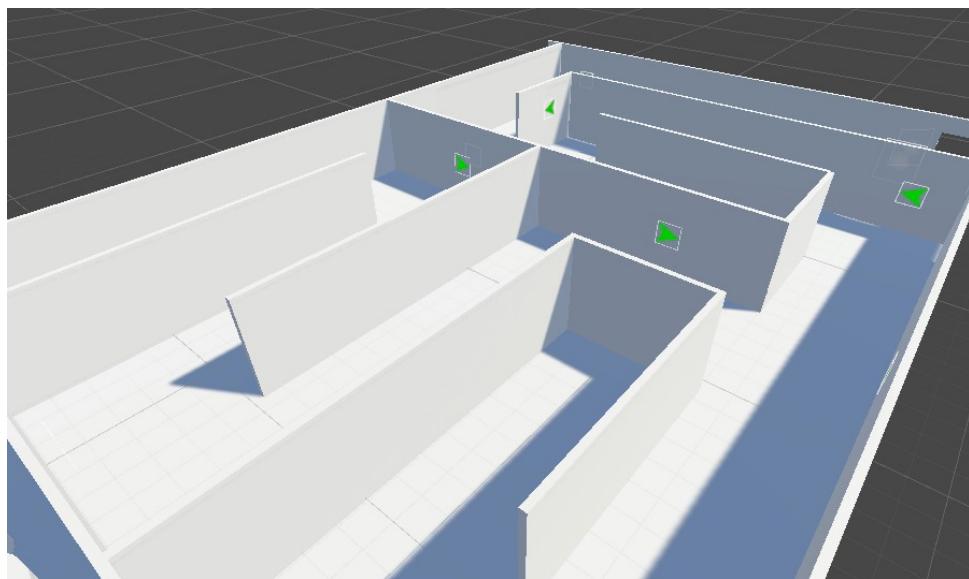


Figura 7.3.9: Ayudas en zona 3

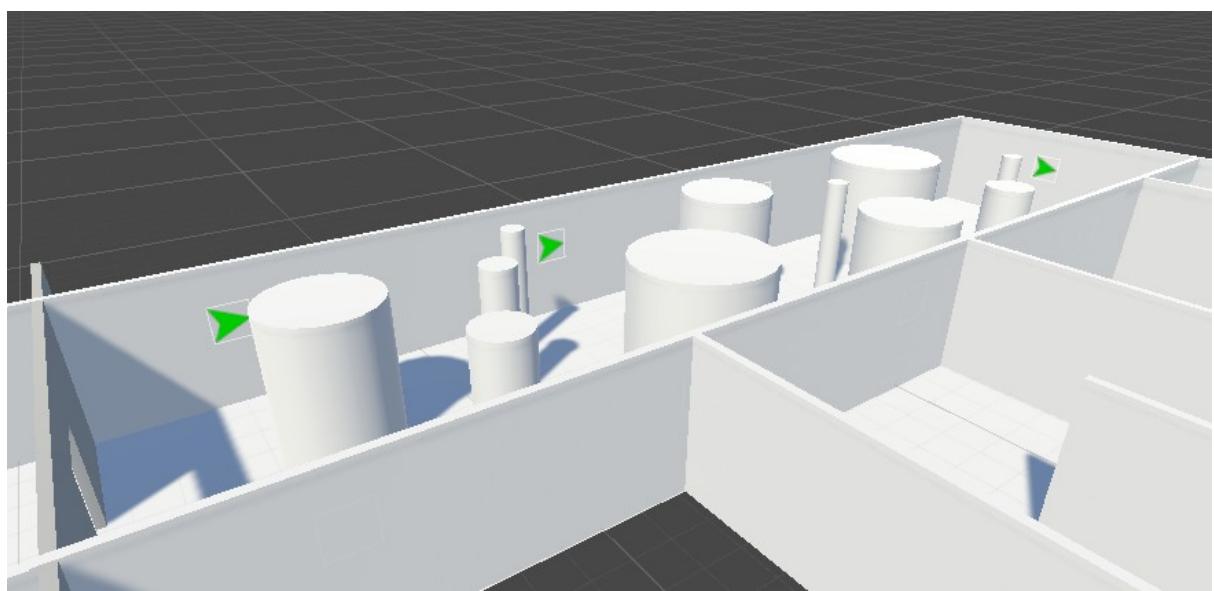


Figura 7.3.10: Ayudas en zona 2

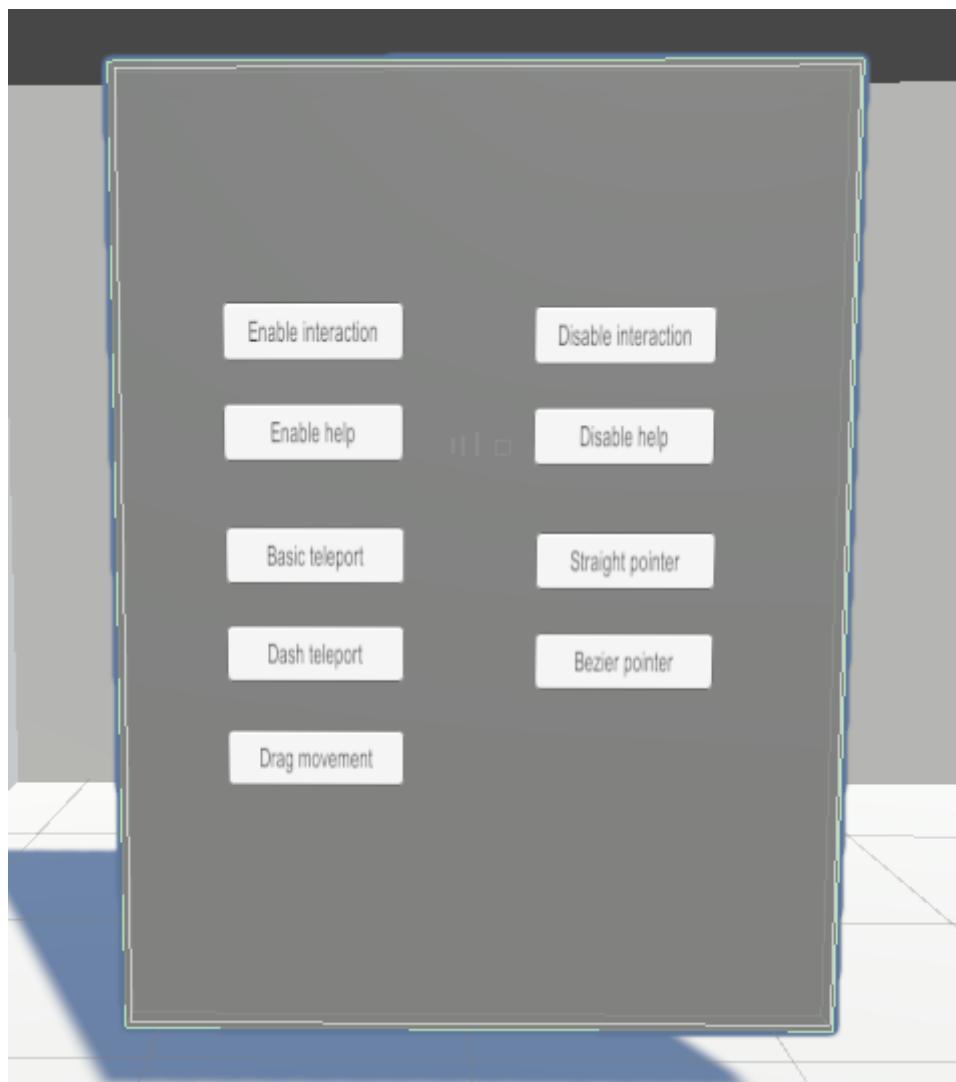


Figura 7.3.11: Menú para la entrega 3

7.4. Entrega 4: Implementación del circuito de presencia en Unity.

Para esta entrega se ha desarrollado la prueba de presencia la cual consiste en encontrar una serie de balizas por toda la gymkhana haciendo uso de un mapa. Cuando se toca una baliza, esta desaparece y aparece la siguiente. Se cronometra el tiempo que tarda el usuario en encontrar cada baliza. El objetivo es ver cómo afecta a la presencia de un usuario los distintos métodos de desplazamiento.

El primer paso para esta entrega fue crear el mapa, para ello se creó una cámara con vista cenital de toda la gymkhana y perspectiva isométrica. Después se creó un plano y se le puso una textura donde aparecía lo que veía la cámara creada. Por último el plano se hizo hijo de un controlador para que apareciese en la mano del usuario y este pudiera manipularlo a su antojo. Para que el jugador pudiera ver su posición en el mapa se encontró una solución sencilla: crear una esfera justo encima del jugador pero a más altura de tal manera que este no la pueda ver pero aparezca renderizada en el mapa. Las balizas creadas son esferas de un tamaño suficientemente grande para que pudieran ser vistas por la cámara y mostradas en el mapa.



Figura 7.4.1: Vista de la cámara

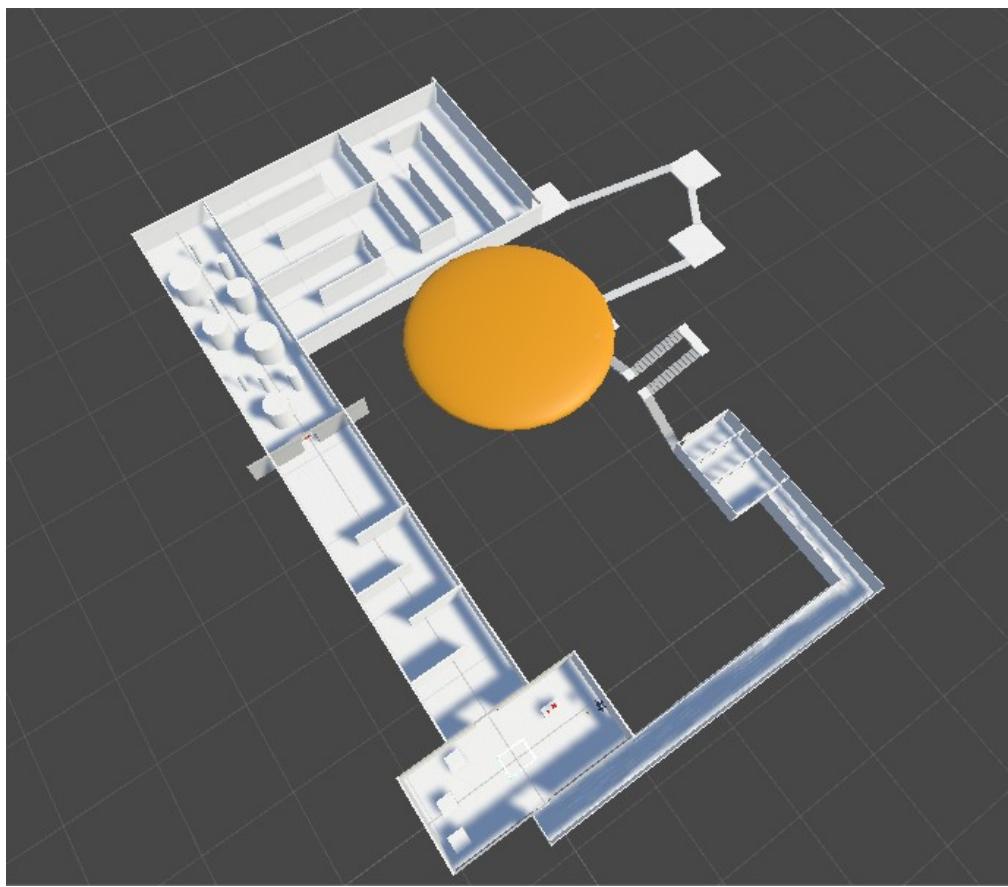


Figura 7.4.2: Marcador del jugador

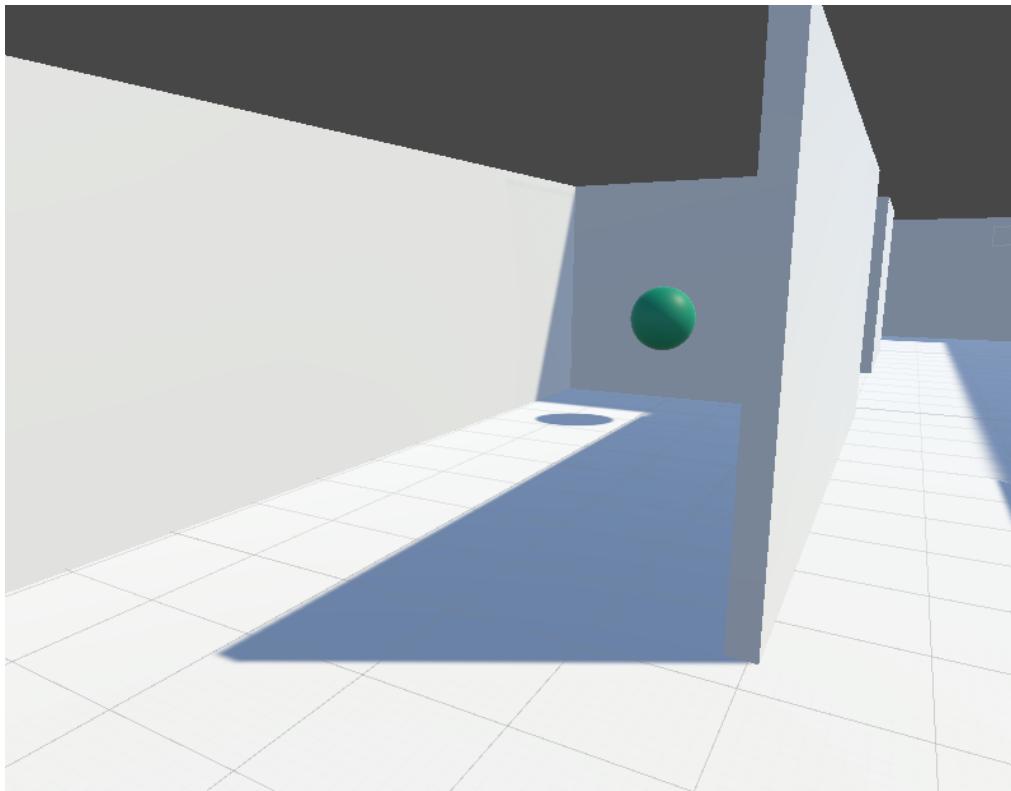


Figura 7.4.3: Baliza

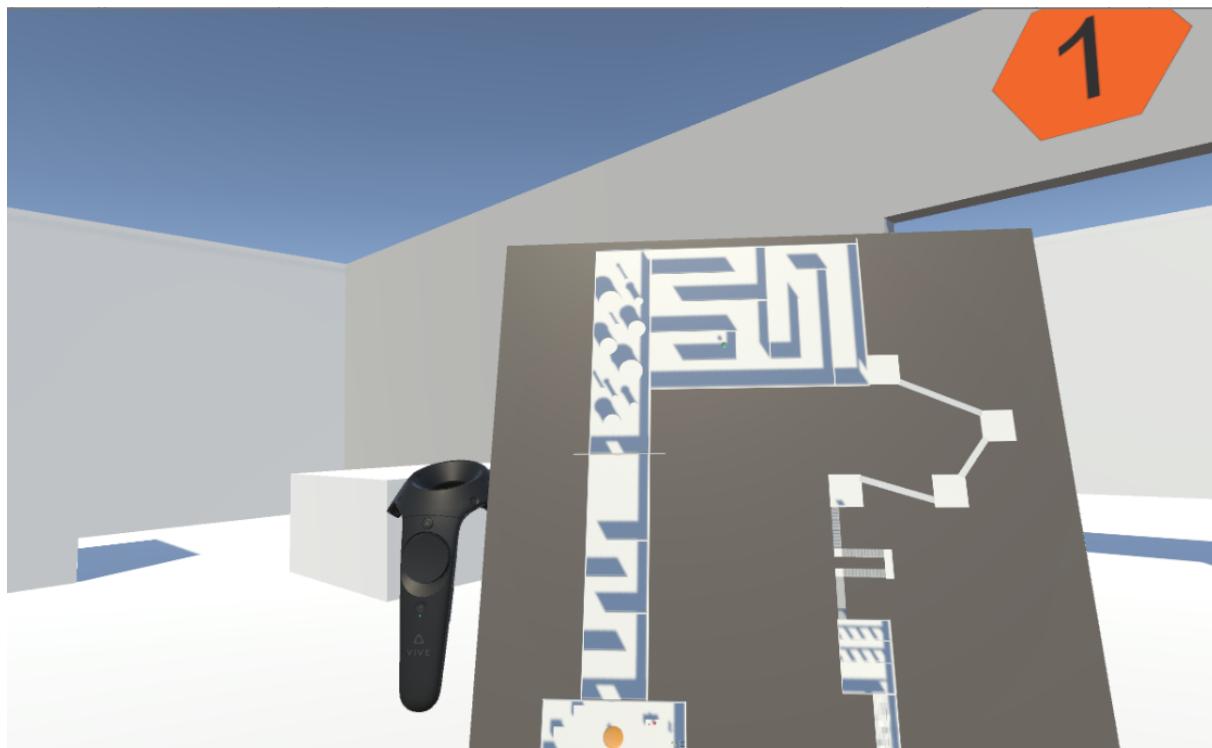


Figura 7.4.4: Mapa para la prueba de presencia

En total se crearon tres balizas en las siguientes posiciones (puntos verdes):



Figura 7.4.5: Balizas

El script creado tiene la funcionalidad para cronometrar la prueba de presencia y hacer que aparezcan y desaparezcan las balizas al tocarlas. En el editor de Unity es necesario pasarle como parámetros las balizas creadas.

```
public class TimerPresence : MonoBehaviour
{
    [Header("Baliza 1")]
    public GameObject baliza1;

    [Header("Baliza 2")]
    public GameObject baliza2;

    [Header("Baliza 3")]
    public GameObject baliza3;

    [Header("Player")]
    public GameObject player;

    private Transform leftC;
    private Transform rightC;

    private float size1;
    private float size2;
    private float size3;

    private int n_baliza;

    private float current_time;
    private float start_time;

    private float [] times;

    // Start is called before the first frame update
    void Start()
    {
        start_time = current_time = Time.time;
        times = new float[] {0.0f, 0.0f, 0.0f};

        rightC = player.transform.Find("Controller (right)");
        leftC = player.transform.Find("Controller (left)");

        size1 = baliza1.GetComponent<SphereCollider> ().radius;
        size2 = baliza2.GetComponent<SphereCollider> ().radius;
        size3 = baliza3.GetComponent<SphereCollider> ().radius;

        baliza1.SetActive (true);
        baliza2.SetActive (false);
        baliza3.SetActive (false);

        n_baliza = 1;
    }
    void OnEnable()
    {
        start_time = current_time = Time.time;
        times = new float[] {0.0f, 0.0f, 0.0f};

        rightC = player.transform.Find("Controller (right)");
        leftC = player.transform.Find("Controller (left)");
    }
}
```

```

size1 = baliza1.GetComponent<SphereCollider> ().radius;
size2 = baliza2.GetComponent<SphereCollider> ().radius;
size3 = baliza3.GetComponent<SphereCollider> ().radius;

baliza1.SetActive (true);
baliza2.SetActive (false);
baliza3.SetActive (false);

n_baliza = 1;
}

// Update is called once per frame
void Update()
{
    if (n_baliza == 1) {
        float distR = Vector3.Distance (rightC.transform.position, baliza1.transform.position);
        float distL = Vector3.Distance (leftC.transform.position, baliza1.transform.position);
        if (distR < size1 || distL < size1) {
            Destroy (baliza1);
            n_baliza = 2;
            baliza2.SetActive (true);
            times [0] = (Time.time - current_time);
            current_time = Time.time;
            Debug.Log ("Tiempo en econtrar la baliza 1 = " + times [0]);
        }
    }
    else if (n_baliza == 2) {
        float distR = Vector3.Distance (rightC.transform.position, baliza2.transform.position);
        float distL = Vector3.Distance (leftC.transform.position, baliza2.transform.position);
        if (distR < size2 || distL < size2) {
            Destroy (baliza2);
            n_baliza = 3;
            baliza3.SetActive (true);
            times [1] = (Time.time - current_time);
            current_time = Time.time;
            Debug.Log ("Tiempo en econtrar la baliza 2 = " + times [1]);
        }
    }
    else if (n_baliza == 3) {
        float distR = Vector3.Distance (rightC.transform.position, baliza3.transform.position);
        float distL = Vector3.Distance (leftC.transform.position, baliza3.transform.position);
        if (distR < size3 || distL < size3) {
            Destroy (baliza3);
            n_baliza = 4;
            times [2] = (Time.time - current_time);
            current_time = Time.time;
            Debug.Log ("Tiempo en econtrar la baliza 3 = " + times [2]);
            Debug.Log ("TIEMPO TOTAL EN ENCONTRAR LAS BALIZAS = " + (Time.time -
start_time));
        }
    }
}

```

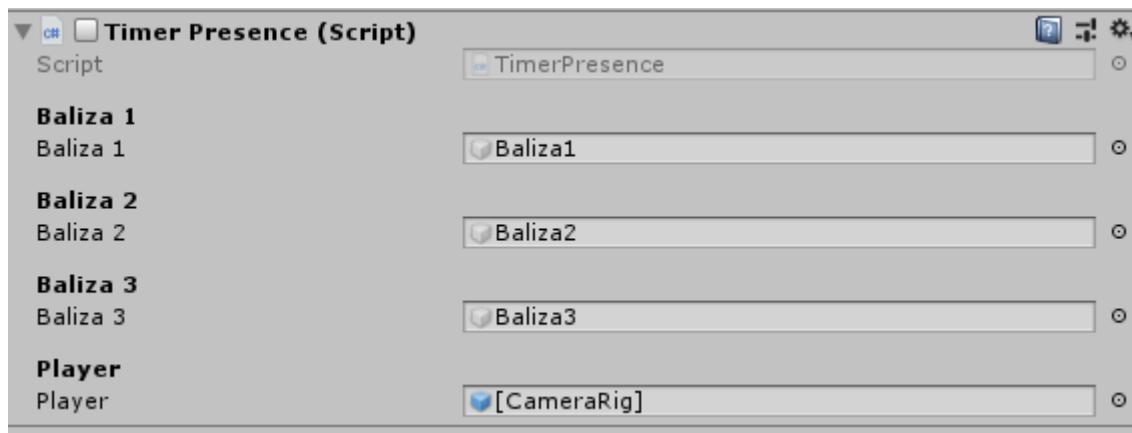


Figura 7.4.6: Script para la presencia en Unity

Por último se han añadido más métodos de desplazamiento como moverse en el sitio, moverse con el touchpad y movimiento con tirachinas. El menú se ha reorganizado para tener un aspecto más estético y se han incluido botones para activar cada prueba. Ahora al pulsar un botón, este indicará que está activo poniéndose de color rojo. Además la posición del menú ha cambiado; ya no se encuentra en la zona 0 estática sino que aparece y desaparece en frente de la vista del usuario al pulsar un botón.

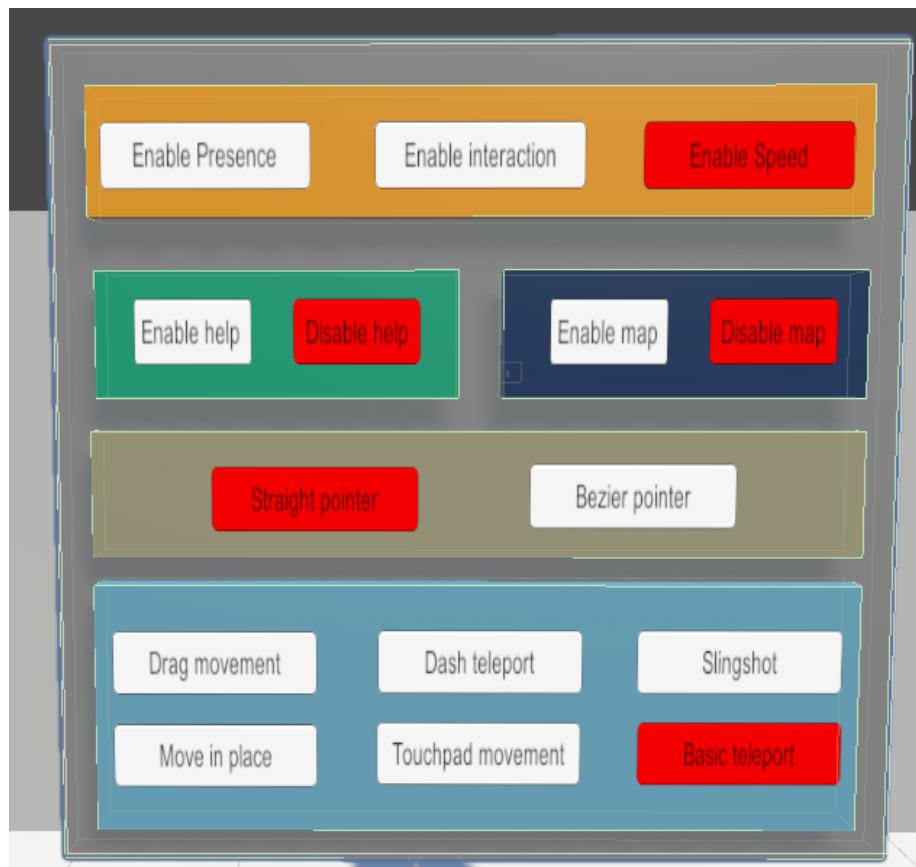


Figura 7.4.7: Menú para la entrega 4

El script creado para activar y desactivar el menú es el siguiente:

```
public class ToggleMenu : MonoBehaviour
{
    private bool active = true;

    public GameObject leftController;
    public GameObject rightController;

    public void toggleActive()
    {
        active = !active;
        this.gameObject.SetActive(active);

        bool isBezier = rightController.GetComponent<VRTK.VRTK_BezierPointerRenderer>().enabled;

        if (isBezier && active)
        {
            leftController.GetComponent<VRTK.VRTK_BezierPointerRenderer>().enabled = false;
            rightController.GetComponent<VRTK.VRTK_BezierPointerRenderer>().enabled = false;

            leftController.GetComponent<VRTK.VRTK_StraightPointerRenderer>().enabled = true;
            rightController.GetComponent<VRTK.VRTK_StraightPointerRenderer>().enabled = true;

            leftController.GetComponent<VRTK.VRTK_Pointer>().pointerRenderer =
                leftController.GetComponent<VRTK.VRTK_StraightPointerRenderer>();
            rightController.GetComponent<VRTK.VRTK_Pointer>().pointerRenderer =
                rightController.GetComponent<VRTK.VRTK_StraightPointerRenderer>();
        }
    }
}
```

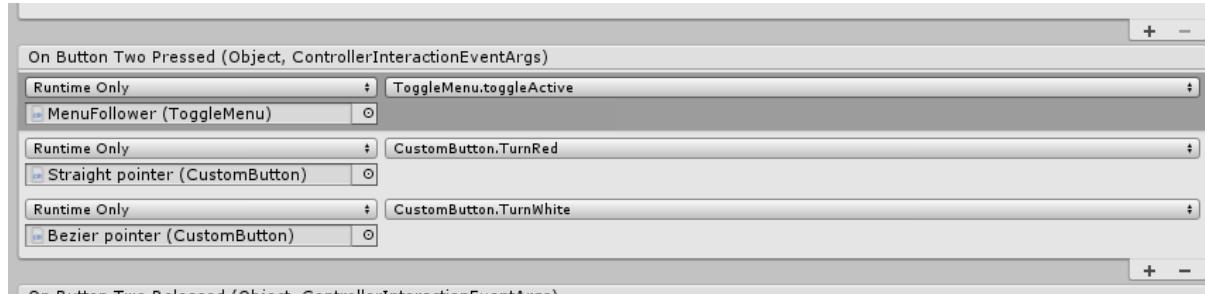


Figura 7.4.8: Controlador de eventos para activar el menú

Script creado para poder hacer que un botón cambie de color:

```
public class CustomButton : MonoBehaviour
{
    private Button button;

    // Start is called before the first frame update
    void Start()
    {
        button = GetComponent<Button>();
    }

    public void TurnRed()
    {
        ColorBlock colors = button.colors;
        colors.normalColor = Color.red;
        colors.highlightedColor = new Color32(255, 100, 100, 255);
        button.colors = colors;
    }

    public void TurnWhite()
    {
        ColorBlock colors = button.colors;
        colors.normalColor = Color.white;
        colors.highlightedColor = new Color32(225, 225, 225, 255);
        button.colors = colors;
    }
}
```

Por último, tras realizar una serie de pruebas se corrigieron algunos errores y se añadieron algunas funcionalidades:

- **Respawn en zonas 4 y 5:** En algunas pruebas ocurrió que era posible caer al vacío. Este evento no estaba controlado y el usuario caía infinitamente. Para solucionar esto, se crearon unas zonas justo debajo de las pruebas la cuales, si el usuario caía y entraba en contacto con ellas reaparecería en unos puntos preestablecidos.

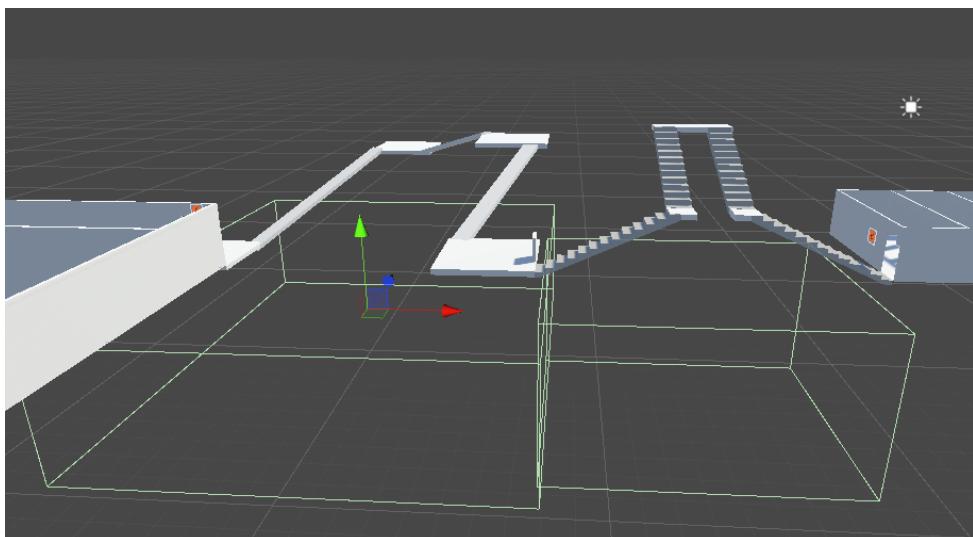


Figura 7.4.9: Zonas de límite de caída

Se creó un script que se aplicaba a estas zonas y se encarga de reposicionar al usuario.

```
public class RespawnOnFalling : MonoBehaviour
{
    [Header("Player")]
    public GameObject player;

    [Header("Respawn point")]
    public GameObject respawn;

    private CapsuleCollider playerCollider;

    // Start is called before the first frame update
    void Start()
    {
        playerCollider = GameObject.Find("[VRTK][AUTOGEN][BodyColliderContainer]").GetComponent<CapsuleCollider>();
    }

    void OnTriggerEnter(Collider other)
    {
        if (other == playerCollider)
        {
            player.transform.position = respawn.transform.position;
        }
    }

    private void OnTriggerExit(Collider other)
    {
        if (other == playerCollider)
        {
            player.transform.position = respawn.transform.position;
        }
    }
}
```

- **Indicadores de comienzo de zona:** Se han añadido una serie de señales que indican el comienzo de una zona. Esto da un aspecto más acabado a la gymkhana y es de gran ayuda para el usuario.



Figura 7.4.10: Señal de la zona 4

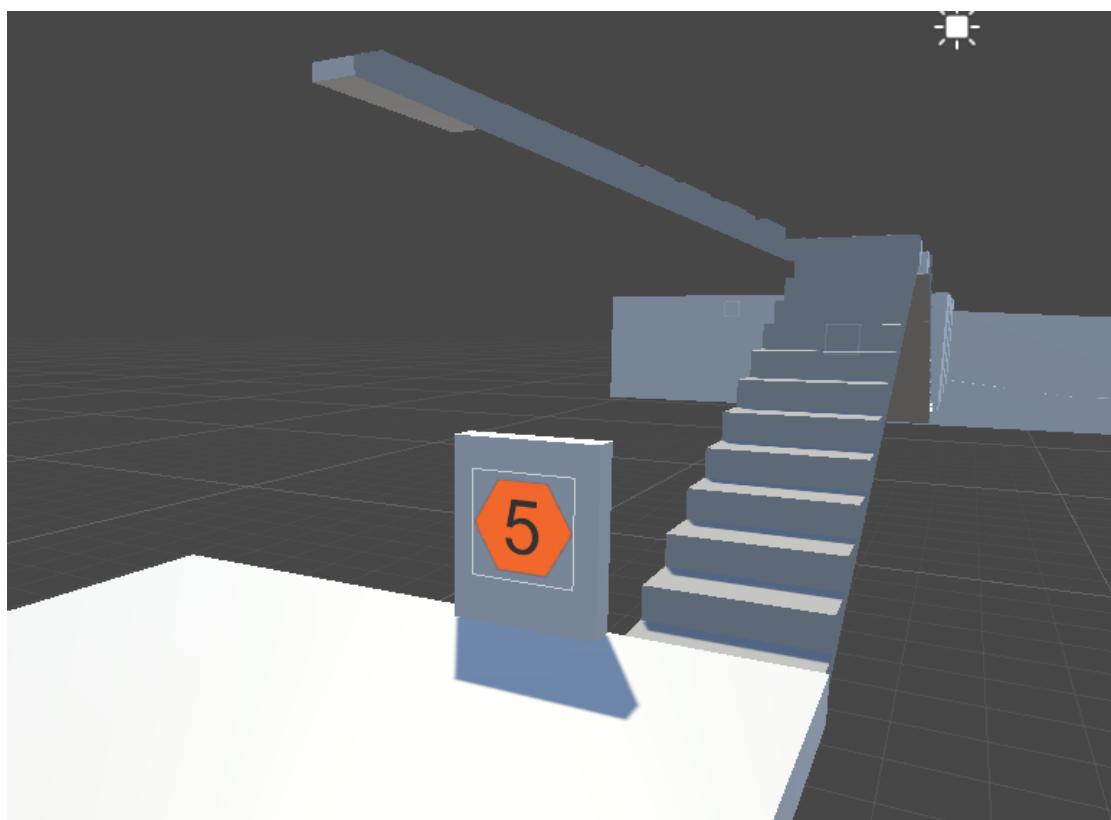


Figura 7.4.11: Señal de la zona 5

- **Zona 0 mejorada:** Se han añadido más elementos para que la zona 0 no quedara tan vacía y el usuario tenga una mejor experiencia y pueda experimentar más con los métodos de interacción y movimiento.

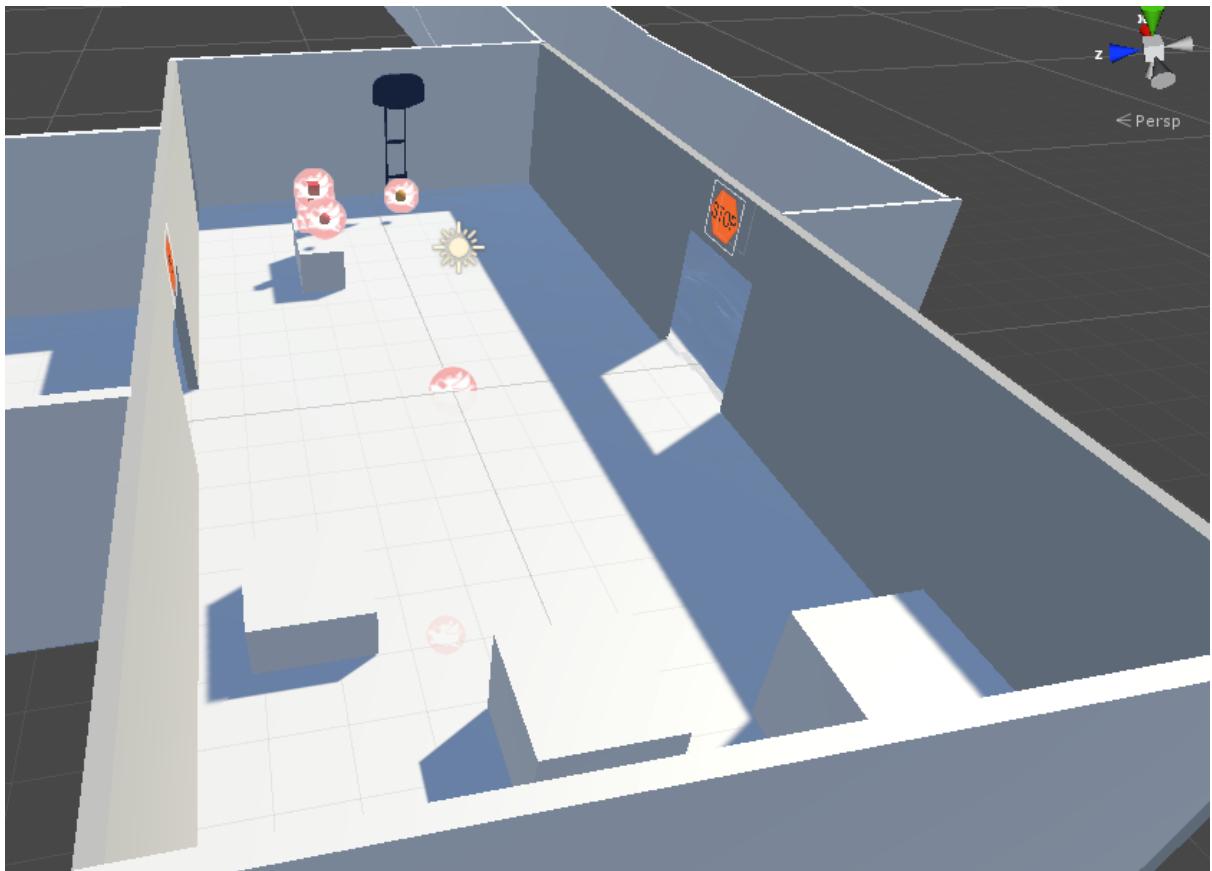


Figura 7.4.12: Zona 0 para la entrega 4

- **Apariencia del bezier pointer:** Se han añadido más segmentos al puntero en forma de curva para que sea más visualmente atractivo y se asemeje más a la forma de curva esperada.
- **Aumentada velocidad en movement:** Se ha alterado el multiplicador de velocidad en este método de desplazamiento porque era demasiado lento.
- **Incluidos giros:** Se ha añadido la funcionalidad para girar en el touchpad movement al pulsar en el touchpad la izquierda o la derecha. También se permite girar en el drag movement al girar los controladores.

Con esta entrega se ha desarrollado todo lo necesario para empezar a hacer pruebas con usuarios reales.

7.5. Entrega 5: Creación de cuestionarios

Los cuestionarios son la mejor manera de obtener un feedback cuantitativo y cualitativo directo de los usuarios. Para ello se han basado en otros estudios de experiencia de usuario y usabilidad y se han extraído una serie de preguntas [31][32][33]. Se han creado dos cuestionarios, uno para medir la experiencia de usuario y otro para comparar los métodos de desplazamiento.

Para realizar el formulario de experiencia de usuario, se eligieron qué características se querían medir y se agruparon en dos bloques de características:

- **Propiedades de la RV:**
 - Presencia: Se define como la sensación subjetiva de una persona de estar allí en una escena representada por un medio, generalmente de naturaleza virtual.
 - Inmersión: Sensación de formar parte de la historia o tareas a realizar.
 - Credibilidad: El usuario percibe como creíble lo que sucede en el entorno.
 - Naturalidad: Movimientos usualmente normales en el cuerpo humano y respuesta acorde a ellos.
 - Diversión: hace pasar el tiempo de manera agradable.
 - Placer: Satisfacción o sensación agradable producida por algo
 - Satisfacción: Sentimiento de bienestar o placer que se tiene cuando se ha colmado un deseo o cubierto una necesidad
 - Precisión: capacidad para realizar una tarea de la manera deseada.
- **Problemas de la RV:**
 - Frustración: Imposibilidad de satisfacer una necesidad o un deseo.
 - Ansiedad: Inquietud, una intensa excitación y una extrema inseguridad.
 - Mareo: Sensación de vértigo e inestabilidad en la cabeza y malestar en el estómago que puede llegar a provocar ganas de vomitar y pérdida del equilibrio.
 - Desorientación: Pérdida de la noción del tiempo y del espacio.
 - Velocidad: Tiempo tardado en hacer una tarea.
 - Obstáculos: Objetos físicos y virtuales que influyen en la realización de una tarea.
 - Fatiga física: Disminución de la capacidad física del usuario después de haber realizado un trabajo durante un tiempo determinado
 - Fatiga cognitiva: Enlentecimiento cognitivo o sensación de embotamiento, que dificulta la ejecución de tareas que requieren de un esfuerzo mental sostenido.

Una vez decididas qué características de la experiencia de usuario se querían medir, se creó una ponderación de cómo afecta cada pregunta a cada característica. Para ello, por cada pregunta se reparten 100 puntos para las propiedades de la RV y otros 100 para los problemas, las ponderaciones se encuentran en el anexo. Con las respuestas de los usuarios se podrá ver cómo afecta cada método de desplazamiento a cada característica. Si

la pregunta afectaba positivamente a la experiencia la ponderación tiene valores positivos en las propiedades y negativos en los problemas y viceversa.

A continuación se muestran las preguntas del cuestionario de experiencia de usuario, el usuario deberá responderlas con una valoración entre 1 y 5 siendo 1 nada de acuerdo y 5, totalmente de acuerdo:

- El entorno virtual respondía a mis acciones de forma natural
- Mi movimiento por el entorno virtual resultó natural
- Podía examinar los objetos virtuales en detalle
- Podía examinar los objetos virtuales desde distintos ángulos
- La forma en que usé los gamepads me distrajo de las tareas que debía realizar
- La sensación de mi movimiento por el entorno era convincente
- Me sentía inmerso/a por completo en el entorno virtual
- Me olvidé de las cosas que me rodeaban en el mundo real
- Perdí la noción del tiempo mientras estaba en el entorno virtual
- Sentí que podía explorar el entorno a mi antojo
- Me resultó fácil usar los gamepads para moverme por el entorno virtual
- La gymkhana me resultó emocionante
- La gymkhana me resultó aburrida
- La gymkhana me resultó desafiante
- La gymkhana me resultó sencilla
- Fui capaz de controlar mis acciones sin problema
- Fui capaz de interactuar con el entorno virtual a la perfección
- Estaba muy concentrado/a durante la gymkhana
- Me preocupaba llevar a cabo las tareas correctamente
- Me sentí feliz al completar una tarea con éxito
- Me sentí mal al fallar una tarea
- Sentí presión a la hora de realizar las tareas correctamente
- Sentí presión a la hora de realizar las tareas en poco tiempo

- Me sentí cómodo/a usando los gamepads
- Me costaba prestar atención a los elementos del entorno virtual
- En todo momento era consciente de mi posición en el entorno virtual
- En todo momento era consciente de mi posición en el mundo real
- En algún momento sentí vértigo
- En algún momento sentí que me mareaba
- En algún momento sentí molestias oculares
- En algún momento sentí molestias en las manos o los brazos

El formulario para comparar las técnicas de desplazamiento consiste en clasificar cada técnica en función de alguna característica. Las preguntas del formulario son las siguientes:

- Clasifica las distintas técnicas según la facilidad de uso (siendo 0 muy difícil y 5 muy fácil)
- Clasifica las distintas técnicas según la facilidad de aprendizaje (siendo 0 muy difícil y 5 muy fácil)
- Clasifica las distintas técnicas según la comodidad presentada para navegar por el entorno virtual (siendo 0 nada cómodo y 5 muy cómodo)
- Clasifica las distintas técnicas según la similitud con la realidad (siendo 0 nada similar y 5 muy similar)
- Clasifica las distintas técnicas según la sensación de naturalidad presentada (siendo 0 nada natural y 5 muy natural)
- Clasifica las distintas técnicas según la libertad de movimiento por el entorno virtual presentada (siendo 0 muy restringida y 5 nada restringida)
- Clasifica las distintas técnicas según la levedad de las molestias sentidas durante su uso (siendo 0 muy graves y 5 imperceptibles)
- Clasifica las distintas técnicas según tu preferencia de uso en una aplicación de RV (siendo 0 nada preferente y 5 muy preferente)

Los formularios entregados a los usuarios se realizaron con la herramienta de Formularios de Google y posteriormente se imprimieron para que sean llenados a mano por los usuarios.

Valoración de las técnicas de movimiento

Descripción del formulario

Clasifica las distintas técnicas según la facilidad de uso (siendo 0 muy difícil y 5 muy fácil)

	0	1	2	3	4	5
Teletransporte	<input type="radio"/>					
Arrastrado	<input type="radio"/>					
En el sitio	<input type="radio"/>					
Touchpad	<input type="radio"/>					
Tirachinas	<input type="radio"/>					

Clasifica las distintas técnicas según la facilidad de aprendizaje (siendo 0 muy difícil y 5 muy fácil)

	0	1	2	3	4	5
Teletransporte	<input type="radio"/>					
Arrastrado	<input type="radio"/>					

Figura 7.5.1: Fragmento del formulario de comparación de técnicas de desplazamiento

Valoración de la UX

Valora de 1 a 5 cómo de acuerdo estás con las siguientes afirmaciones

*Obligatorio

El entorno virtual respondía a mis acciones de forma natural *

	1	2	3	4	5
Nada de acuerdo	<input type="radio"/>				
Completamente de acuerdo					

Mi movimiento por el entorno virtual resultó natural *

	1	2	3	4	5
Nada de acuerdo	<input type="radio"/>				
Completamente de acuerdo					

Podía examinar los objetos virtuales en detalle *

	1	2	3	4	5
Nada de acuerdo	<input type="radio"/>				
Completamente de acuerdo					

Podía examinar los objetos virtuales desde distintos ángulos *

	1	2	3	4	5
Nada de acuerdo	<input type="radio"/>				
Completamente de acuerdo					

Figura 7.5.2: Fragmento del formulario de experiencia de usuario.

7.6. Entrega 6: Pruebas con usuarios

Esta entrega consistió en la realización de las pruebas con usuarios reales. Se realizaron un total de 8 pruebas con siete usuarios de distinta edad y conocimiento con la tecnología. Las pruebas duraban entre 30-45 minutos dependiendo de la habilidad del usuario y tenían la siguiente estructura:

- Primero se explicaba a el usuario la estructura de la prueba, en qué consistía cada fase, el nombre de los botones de los controladores para poder referirse a ellos durante las pruebas.
- Se procedía a poner el visor de RV a el usuario y ajustarlo para que se sintiera cómodo y pudiera ver bien. Todo esto se hacía antes de iniciar la prueba, en el propio menú de SteamVR. Por último se le pasaban los mandos al usuario para que se acomodara a ellos. La mandos se le daban al usuario a cierta distancia de sus manos para que tuvieran que extender sus brazos y cogerlos, de esta manera se crea una primera experiencia y una asociación entre el cuerpo real del usuario y su posición con la posición en el entorno virtual.
- Se iniciaba el proyecto, el usuario aparecía en la Zona0 y se le explicaba el funcionamiento de cada botón y la estructura del menú. A continuación se le pedía que seleccionara un método de desplazamiento en concreto, se le explicaba cómo se tenía que usar y se le pedía que se desplazara por la Zona0 para acomodarse a este método.
- Una vez el usuario había aprendido a usar el método de desplazamiento comenzaba la prueba de velocidad. El usuario tenía que recorrer la gymkhana desde la Zona1 hasta la Zona7 mientras hacía uso del método de desplazamiento seleccionado. Cada vez que terminaba una zona el tiempo tardado en recorrerlo aparecía en consola y se anotaba en un papel.
- En total, por cada usuario, se realizaron las tres pruebas en el siguiente orden: velocidad, presencia e interacción. Para cada prueba se elegía un método de desplazamiento distinto y se realizaba una habituación a él en la Zona0. También se apuntaba el tiempo tardado en realizar las otras pruebas.
- El último paso era llenar los cuestionarios. Se le mostraban al usuario los cuestionarios impresos en papel y se le explicaba la estructura y funcionamiento, así como el objetivo de estos. También se aclaraban algunos conceptos tales como naturalidad, comodidad e inmersión para que el usuario supiera diferenciarlos. Primero llenaban el cuestionario de experiencia de usuario, en cada pregunta se le aclaraban las dudas que tenían. Por último llenaban el cuestionario de comparación de técnicas de desplazamiento comparando siempre las técnicas que había usado ese usuario en concreto.
- Se archivaban los cuestionarios junto con los tiempos para poder ser procesados posteriormente en la siguiente entrega.

Durante las pruebas de usuarios se pudieron apreciar algunos patrones o características que tenían los usuarios o que aparecían al realizar las pruebas. Las

siguientes observaciones son a priori de procesar los datos pero muestran unas primeras conclusiones del estudio:

- Había una clara diferencia en los tiempos de realización de las pruebas entre los usuarios con facilidad en tecnología alta, media y baja.
- La mayoría de usuarios, incluido los que tenían gran facilidad con la tecnología no fueron capaces de coger las pelotas que se les lanzaban. Probablemente esto ocurría porque la velocidad era un poco elevada.
- Algunos usuarios perdieron la orientación completamente en la prueba de orientación del laberinto, apuntando incluso en direcciones bastante alejadas de la acertada. Algunos usuarios supieron localizar bien el origen del laberinto.
- Todos los métodos salvo el teletransporte mostraron ser más complicados y requerían más precisión en las zonas 4 y 5 (plataformas y escaleras) ya que había pasarelas muy estrechas donde los usuarios se caían numerosas veces.
- El método que permitía recorrer la gymkhana más rápidamente era el teletransporte y los métodos más gustados fueron el teletransporte y en el sitio.
- Durante la realización de los cuestionarios 6 usuarios de los 8 expresaron que sufrieron mareos de los cuales 4 usuarios fueron leves y 2 usuarios sufrieron mareos más acusados.

7.7. Entrega 7: Conclusiones

Esta entrega consistió en analizar los resultados obtenidos en la realización de las pruebas con usuarios. Para el cuestionario de experiencia de usuario hubo que pasar todos los datos obtenidos en papel a hojas de cálculo donde, con las ponderaciones se podían ver el resultado en cada característica y problema de la realidad virtual. A continuación se muestra un ejemplo de una prueba de usuario y el resultado en cada característica.

Pregunta	Respuesta
El entorno virtual respondía a mis acciones de forma natural	4
Mi movimiento por el entorno virtual resultó natural	4
Podía examinar los objetos virtuales en detalle	5
Podía examinar los objetos virtuales desde distintos ángulos	5
La forma en que usé los gamepads me distrajo de las tareas que debía realizar	4
La sensación de mi movimiento por el entorno era convincente	4
Me sentía inmerso/a por completo en el entorno virtual	3
Me olvidé de las cosas que me rodeaban en el mundo real	4
Perdí la noción del tiempo mientras estaba en el entorno virtual	2
Sentí que podía explorar el entorno a mi antojo	3
Me resultó fácil usar los gamepads para moverme por el entorno virtual	4
La gymkhana me resultó emocionante	5
La gymkhana me resultó aburrida	2
La gymkhana me resultó desafiante	3

La gymkhana me resultó sencilla	3
Fui capaz de controlar mis acciones sin problema	3
Fui capaz de interactuar con el entorno virtual a la perfección	3
Estaba muy concentrado/a durante la gymkhana	4
Me preocupaba llevar a cabo las tareas correctamente	5
Me sentí feliz al completar una tarea con éxito	5
Me sentí mal al fallar una tarea	4
Sentí presión a la hora de realizar las tareas correctamente	3
Sentí presión a la hora de realizar las tareas en poco tiempo	4
Me sentí cómodo/a usando los gamepads	5
Me costaba prestar atención a los elementos del entorno virtual	2
En todo momento era consciente de mi posición en el entorno virtual	5
En todo momento era consciente de mi posición en el mundo real	1
En algún momento sentí vértigo	3
En algún momento sentí que me mareaba	5
En algún momento sentí molestias oculares	5
En algún momento sentí molestias en las manos o los brazos	1

Figura 7.7.1: Resultados de un cuestionario de experiencia de usuario

Propiedades de la RV								
Presencia	Inmersión	Credibilidad	Naturalidad	Diversión	Placer	Satisfacción	Precisión	
0,6	0,4	0,2	2	0	0	0,2	0,6	
0,4	0,8	0	1,6	0,4	0	0,2	0,6	
1	1	0,75	0,25	0	0	0,5	1,5	
1	0,75	0,5	0,25	0,5	0	0,5	1,5	
0	-1,2	-1,2	-1,2	0	0	-0,4	0	
1,2	0,8	0,8	0,8	0	0	0,4	0	
0,6	0,9	0,6	0,6	0	0	0,3	0	
0	1,2	1,2	0	0,4	0,6	0,6	0	
0,2	0,4	0,2	0	0,6	0,3	0,3	0	
0	0,6	0,6	0,6	0,3	0,3	0,6	0	
0	0	0,8	0,8	0,4	0,4	0,8	0,8	
0	0,5	0,5	0	2	1	1	0	
0	0	0	0	-1,2	-0,6	-0,2	0	
0	0	0	0	-1,8	-0,9	-0,3	0	
0	0	0	0,6	1,2	0,6	0,3	0,3	
0	0,6	0	1,2	0,3	0,3	0	0,6	
0,6	0,6	1,2	0,6	0	0	0	0	

0	0,8	1,6	0,8	0	0	0,8	0
0	0	0	0	-1,5	-1,5	-1	-1
0	0	0	0	1,5	1,5	2	0
0	0	0	0	-1,2	-1,2	-1,6	0
0	0	0	0	-0,75	0	-0,75	-1,5
0	0	0	0	-1	0	-1	-2
0	1,5	1,5	1,5	0	0	0,5	0
0	-1,2	-0,6	0	0	0	0	-0,2
2,5	1	0,5	0,5	0	0	0,5	0
0,5	0,2	0,1	0,1	0	0	0,1	0
0	0	0	-0,6	-0,6	-0,9	-0,9	0
0	0	-0,5	-1	-1	-1,5	-1	0
0	0	-0,5	-1	-1	-1,5	-1	0
0	0	-0,1	-0,2	-0,2	-0,3	-0,2	0
8,6	9,65	8,25	8,4	-2,45	-3,1	1,45	1,2

Figura 7.7.2: Resultados de las propiedades de RV

Problemas de la RV							
Frustración	Ansiedad	Mareo	Desorientación	Velocidad	Obstáculos	Fatiga física	Fatiga cognitiva
-1,6	-0,8	0	0	0	0	-0,8	-0,8
-0,8	0	-1,2	-1,2	0	-0,4	-0,4	0
-1,5	0	0	0	-1	-1	-1	-0,5
-1,5	0	0	0	-1	-1	-1	-0,5
1,2	1,2	0	0	0	0	0,8	0,8
-0,8	0	-0,8	-0,8	-0,4	-0,4	0	-0,8
-0,6	-0,3	-0,3	-0,9	0	-0,6	0	-0,3
0,8	0,4	0,4	1,2	0	0,8	0	0,4
0,4	0,2	0,2	0,6	0	0,4	0	0,2
-0,9	-0,3	0	-0,6	0	-0,6	0	-0,6
-1,2	-0,8	0	0	-0,8	-0,8	-0,4	0
-1,5	-1,5	0	0	0	-1	-0,5	-0,5
0,8	0,4	0	0	0	0,4	0,2	0,2
1,2	0,6	0	0	0	0,6	0,3	0,3
-1,2	-0,6	0	0	0	-0,6	-0,3	-0,3
-0,9	-0,6	0	0	0	-0,9	-0,6	0
-0,9	-0,6	0	0	0	-0,9	-0,6	0

1,2	0,8	0	0	0	0	0,4	1,6
1,5	1	0	0	0	0	0,5	2
-2,5	-2	0	0	0	0	0	-0,5
2	1,6	0	0	0	0	0	0,4
1,5	1,2	0	0	0	0	0	0,3
2	1,6	0	0	0	0	0	0,4
-2	-1,5	0	0	0	0	-1,5	0
0,8	0,4	0	0,4	0	0,4	0	0
-1	0	-1	-2,5	0	-0,5	0	0
-0,2	0	-0,2	-0,5	0	-0,1	0	0
0	0,9	2,1	0	0	0	0	0
0	1,5	3,5	0	0	0	0	0
0	1	0	0	0	0	3	1
0	0,1	0	0	0	0	0,7	0,2
-5,7	3,9	2,7	-4,3	-3,2	-6,2	-1,2	3

Figura 7.7.3: Resultados de los problemas en RV

Surgió el problema de que estos resultados no son explicativos ya que había características afectadas por un gran número de preguntas como por ejemplo la frustración y otras características afectadas por pocas preguntas como por ejemplo el mareo. Esto se puede ver en la tabla de ponderaciones. La solución para esto fue llenar dos cuestionarios de prueba, uno dando la mejor experiencia posible y otro dando la peor. Con esto se pudo sacar el valor máximo y mínimo en cada característica y se pudo calcular el valor medio. El objetivo de esto es restar el valor medio a cada resultado de las características. Si el nuevo resultado sale cercano a 0 quiere decir que ha tenido una experiencia estandar en esa característica. Si en las propiedades sale un valor positivo quiere decir que ha tenido una buena experiencia y si en los problemas sale un valor positivo quiere decir que ha tenido una mala experiencia. En el siguiente ejemplo se pueden ver los valores obtenidos al restar la media al ejemplo anterior y las conclusiones que se pueden sacar.

Propiedades de la RV							
Presencia	Inmersión	Credibilidad	Naturalidad	Diversión	Placer	Satisfacción	Precisión
0,6	0,4	0,2	2	0	0	0,2	0,6
0,4	0,8	0	1,6	0,4	0	0,2	0,6
1	1	0,75	0,25	0	0	0,5	1,5
1	0,75	0,5	0,25	0,5	0	0,5	1,5
0	-1,2	-1,2	-1,2	0	0	-0,4	0

1,2	0,8	0,8	0,8	0	0	0,4	0
0,6	0,9	0,6	0,6	0	0	0,3	0
0	1,2	1,2	0	0,4	0,6	0,6	0
0,2	0,4	0,2	0	0,6	0,3	0,3	0
0	0,6	0,6	0,6	0,3	0,3	0,6	0
0	0	0,8	0,8	0,4	0,4	0,8	0,8
0	0,5	0,5	0	2	1	1	0
0	0	0	0	-1,2	-0,6	-0,2	0
0	0	0	0	-1,8	-0,9	-0,3	0
0	0	0	0,6	1,2	0,6	0,3	0,3
0	0,6	0	1,2	0,3	0,3	0	0,6
0,6	0,6	1,2	0,6	0	0	0	0
0	0,8	1,6	0,8	0	0	0,8	0
0	0	0	0	-1,5	-1,5	-1	-1
0	0	0	0	1,5	1,5	2	0
0	0	0	0	-1,2	-1,2	-1,6	0
0	0	0	0	-0,75	0	-0,75	-1,5
0	0	0	0	-1	0	-1	-2
0	1,5	1,5	1,5	0	0	0,5	0
0	-1,2	-0,6	0	0	0	0	-0,2
2,5	1	0,5	0,5	0	0	0,5	0
0,5	0,2	0,1	0,1	0	0	0,1	0
0	0	0	-0,6	-0,6	-0,9	-0,9	0
0	0	-0,5	-1	-1	-1,5	-1	0
0	0	-0,5	-1	-1	-1,5	-1	0
0	0	-0,1	-0,2	-0,2	-0,3	-0,2	0
8,6	9,65	8,25	8,4	-2,45	-3,1	1,45	1,2
1,25	2,6	1,95	1,2	0,25	-0,7	0,55	0,9

Figura 7.7.4: Resultados de las propiedades en RV menos la media

Problemas de la RV							
Frustración	Ansiedad	Mareo	Desorientación	Velocidad	Obstáculos	Fatiga física	Fatiga cognitiva
-1,6	-0,8	0	0	0	0	-0,8	-0,8
-0,8	0	-1,2	-1,2	0	-0,4	-0,4	0
-1,5	0	0	0	-1	-1	-1	-0,5
-1,5	0	0	0	-1	-1	-1	-0,5
1,2	1,2	0	0	0	0	0,8	0,8
-0,8	0	-0,8	-0,8	-0,4	-0,4	0	-0,8

-0,6	-0,3	-0,3	-0,9	0	-0,6	0	-0,3
0,8	0,4	0,4	1,2	0	0,8	0	0,4
0,4	0,2	0,2	0,6	0	0,4	0	0,2
-0,9	-0,3	0	-0,6	0	-0,6	0	-0,6
-1,2	-0,8	0	0	-0,8	-0,8	-0,4	0
-1,5	-1,5	0	0	0	-1	-0,5	-0,5
0,8	0,4	0	0	0	0,4	0,2	0,2
1,2	0,6	0	0	0	0,6	0,3	0,3
-1,2	-0,6	0	0	0	-0,6	-0,3	-0,3
-0,9	-0,6	0	0	0	-0,9	-0,6	0
-0,9	-0,6	0	0	0	-0,9	-0,6	0
1,2	0,8	0	0	0	0	0,4	1,6
1,5	1	0	0	0	0	0,5	2
-2,5	-2	0	0	0	0	0	-0,5
2	1,6	0	0	0	0	0	0,4
1,5	1,2	0	0	0	0	0	0,3
2	1,6	0	0	0	0	0	0,4
-2	-1,5	0	0	0	0	-1,5	0
0,8	0,4	0	0,4	0	0,4	0	0
-1	0	-1	-2,5	0	-0,5	0	0
-0,2	0	-0,2	-0,5	0	-0,1	0	0
0	0,9	2,1	0	0	0	0	0
0	1,5	3,5	0	0	0	0	0
0	1	0	0	0	0	3	1
0	0,1	0	0	0	0	0,7	0,2
-5,7	3,9	2,7	-4,3	-3,2	-6,2	-1,2	3
-3,3	-0,3	0,9	-0,7	-1,1	-2	-1,8	0,3

Figura 7.7.5: Resultados de los problemas en RV menos la media

Propiedades de la RV

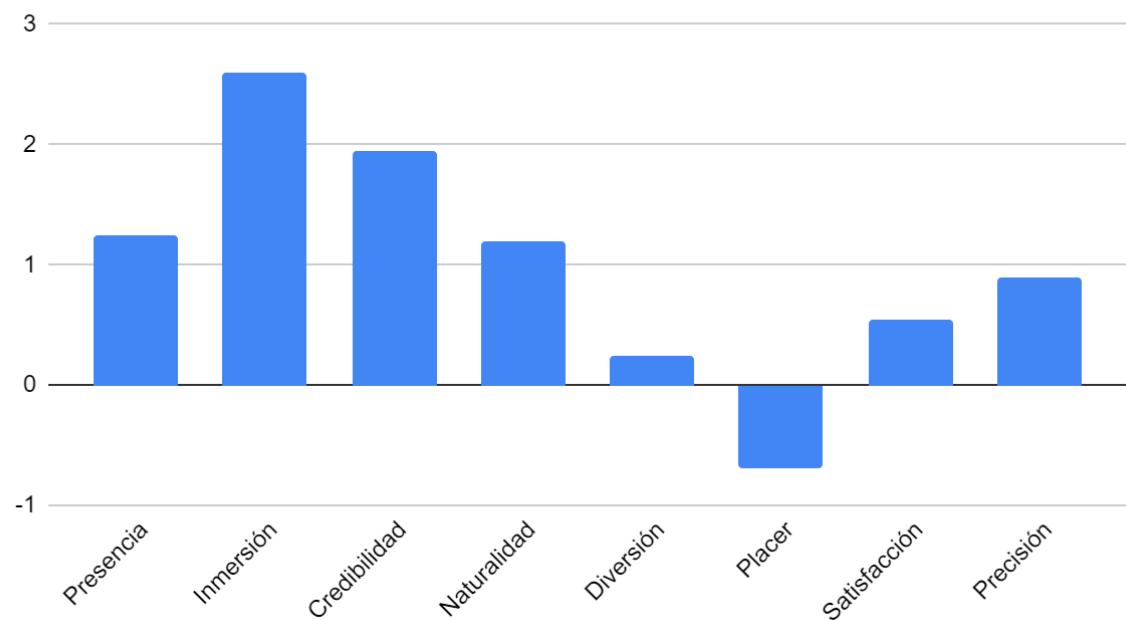


Figura 7.7.6: Gráfica de propiedades en RV

Problemas de la RV

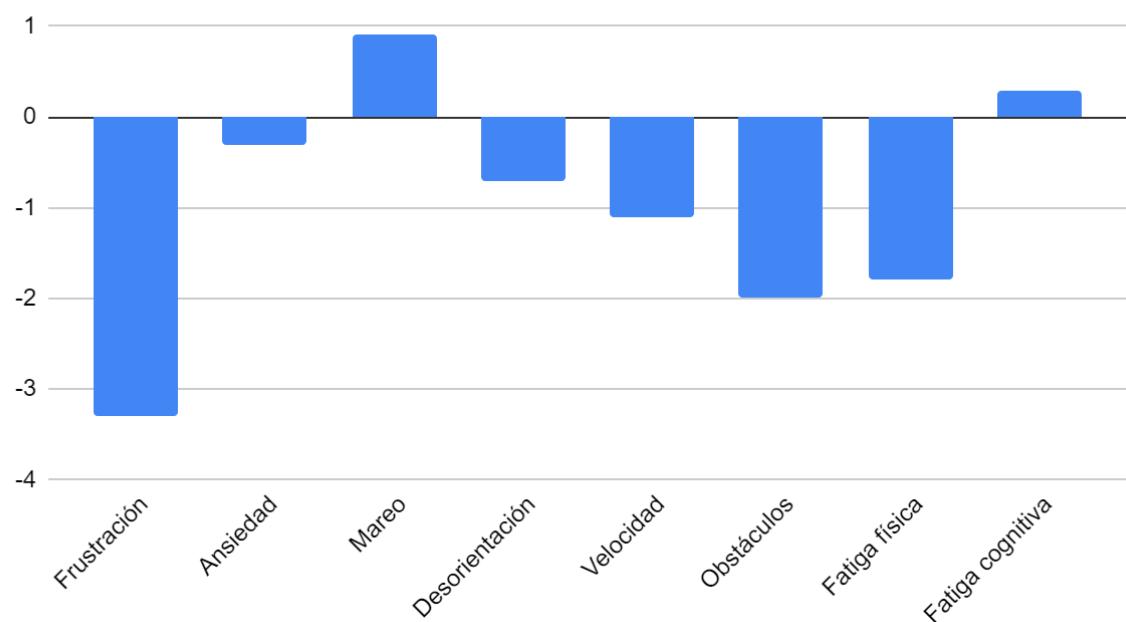


Figura 7.7.7: Gráfica de problemas en RV

Para el usuario del ejemplo anterior se puede concluir que tuvo una gran inmersión pero que no sintió placer durante la experiencia y que tuvo mareo y un poco de fatiga cognitiva.

Para el cuestionario de comparación de métodos de desplazamiento se hizo lo mismo. Se pasaron los datos a hojas de cálculo, se calculó la media para cada desplazamiento y se sacaron gráficas. A continuación se muestra un ejemplo de un cuestionario de comparación.

Clasifica las distintas técnicas según la sensación de naturalidad presentada (siendo 0 nada natural y 5 muy natural)					
Teletransporte	Arrastrado	En el sitio	Touchpad	Tirachinas	
4	4	4			
Clasifica las distintas técnicas según la libertad de movimiento por el entorno virtual presentada (siendo 0 muy restringida y 5 nada restringida)					
Teletransporte	Arrastrado	En el sitio	Touchpad	Tirachinas	
5	3	4			
Clasifica las distintas técnicas según la levedad de las molestias sentidas durante su uso (siendo 0 muy graves y 5 imperceptibles)					
Teletransporte	Arrastrado	En el sitio	Touchpad	Tirachinas	
3	1	4			
Clasifica las distintas técnicas según tu preferencia de uso en una aplicación de RV (siendo 0 nada preferente y 5 muy preferente)					
Teletransporte	Arrastrado	En el sitio	Touchpad	Tirachinas	
4	0	5			
TOTAL					
Teletransporte	Arrastrado	En el sitio	Touchpad	Tirachinas	
29	12	34	0	0	

Figura 7.7.8: Resultado de cuestionario de comparación

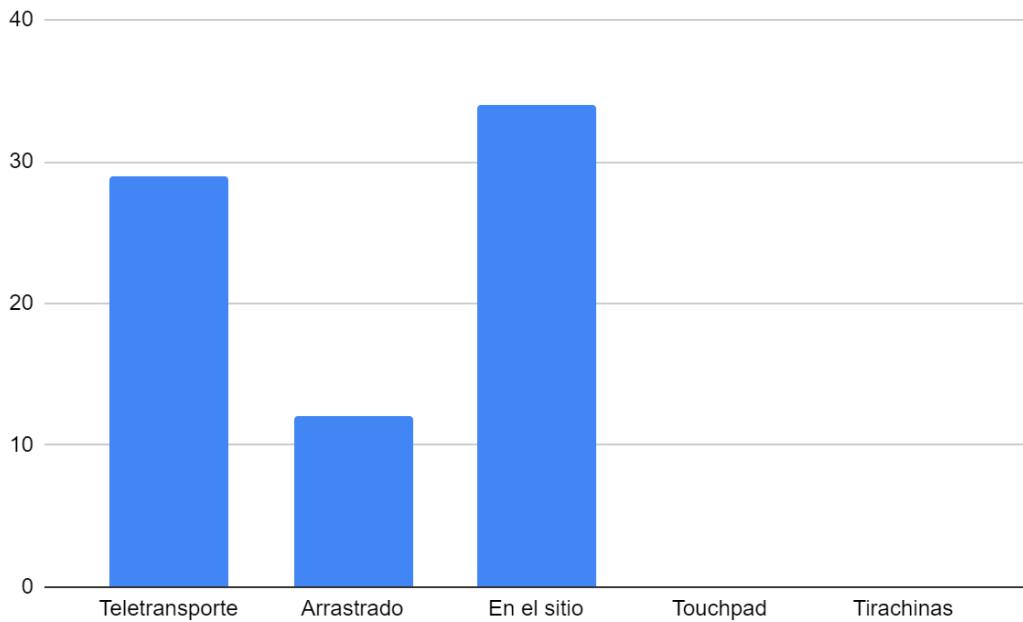


Figura 7.7.9: Gráfica de comparación de métodos de desplazamiento

Para este usuario el método que obtuvo mejores resultado fue en el sitio, seguido del teletransporte y por último el de arrastrado el que claramente no le gustó nada al usuario. También se puede observar que el usuario sintió algunas molestias al usar el método de desplazamiento en el sitio.

Por último se pasaron también a hojas de cálculo los tiempos tardados en realizar cada prueba para posteriormente poder ser comparados en conjunto con todos los usuarios. También se anotaba el resultado obtenido en la prueba de orientación.

TIEMPOS												
Prueba	Método	Tiempo (segundos)										Orientación
		Zona 0	Zona 1	Zona 2	Zona 3	Zona 4	Zona 5	Zona 6	Zona 7	Total		
Velocidad	Teletransporte	185	10,9	5,7	19,7	33,86	40,24	3,08	8,06	306,54		
Interacción	En el sitio	121	26,9	24,98	76,93	116,7	20	28,7	13,6	428,81	30	
		Baliza 1	Baliza 2	Baliza 3								
Presencia	Arrastrado	97,4	205,7	109,4							412,5	

Figura 7.7.10: Tiempos de ejecución de pruebas

Todos los resultados obtenidos durante las pruebas se pueden ver en el anexo.

El último paso es recopilar todos los resultados de las pruebas de usuarios para analizarlos. En primer lugar se van a analizar los resultados de los cuestionarios de experiencia de usuario. Para ello se realiza la media de los valores obtenidos para cada característica para cada usuario.

	Propiedades de la RV							
	Presencia	Inmersión	Credibilidad	Naturalidad	Diversión	Placer	Satisfacción	Precisión
	1,25	2,6	1,95	1,2	0,25	-0,7	0,55	0,9
	3,2	5,6	5,1	5,8	2,55	1,7	3,65	1,4
	1	2,65	2,35	2,5	4,3	3	4,4	2,8
	2,4	5,8	5,2	5,8	2,35	1,5	4,25	3,7
	2,55	6,2	5,65	4,3	4,1	2,2	4,95	4,05
	2,3	4,4	3,4	4,8	4,2	2,5	4,9	4,5
	0,05	4	3,3	2,35	3	0,9	2,75	3,65
	2,25	6	5,75	6,5	3,6	2,7	5,05	3,15
TOTAL	15	37,25	32,7	33,25	24,35	13,8	30,5	24,15
MEDIA	1,875	4,65625	4,0875	4,15625	3,04375	1,725	3,8125	3,01875

Figura 7.7.11: Media de propiedades de la RV

	Problemas de la RV							
	Frustración	Ansiedad	Mareo	Desorientación	Velocidad	Obstáculos	Fatiga física	Fatiga cognitiva
	-3,3	-0,3	0,9	-0,7	-1,1	-2	-1,8	0,3
	-4,6	-2,5	-3,8	-1,6	-1,3	-2,3	-2,7	-0,2
	-7,4	-6	-2,4	-1,2	-0,4	-1,7	-3,4	-2,5
	-7,9	-4,8	-2,1	-2,9	-1,4	-3,3	-4,8	-1,8
	-7,7	-4,5	-0,1	-1,2	-1,2	-2,5	-4,6	-2,2
	-9,9	-6,1	-1,1	-1,7	-1,2	-3	-5,1	-2,9
	-4,3	-2,2	0,2	1	-0,7	-1,6	-1,9	-0,5
	-8,7	-6	-3,3	-2,4	-1,4	-4	-5,3	-1,9
TOTAL	-53,8	-32,4	-11,7	-10,7	-8,7	-20,4	-29,6	-11,7
MEDIA	-6,725	-4,05	-1,4625	-1,3375	-1,0875	-2,55	-3,7	-1,4625

Figura 8.12: Media de problemas de la RV

Propiedades de la RV

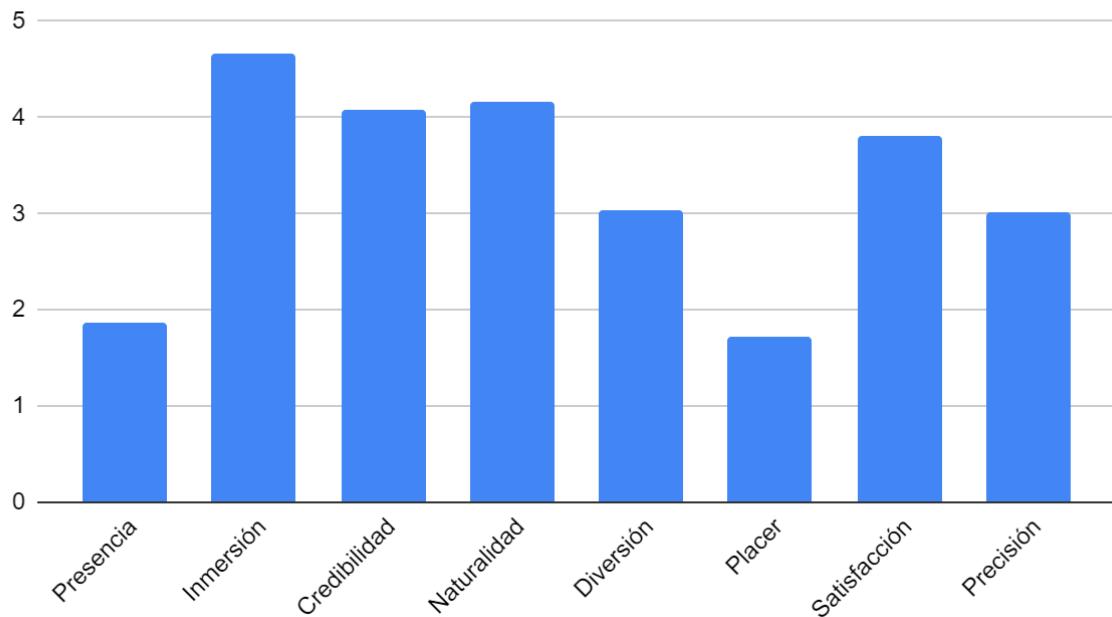


Figura 7.7.13: Gráfica de la media de propiedades de la RV

Problemas de la RV

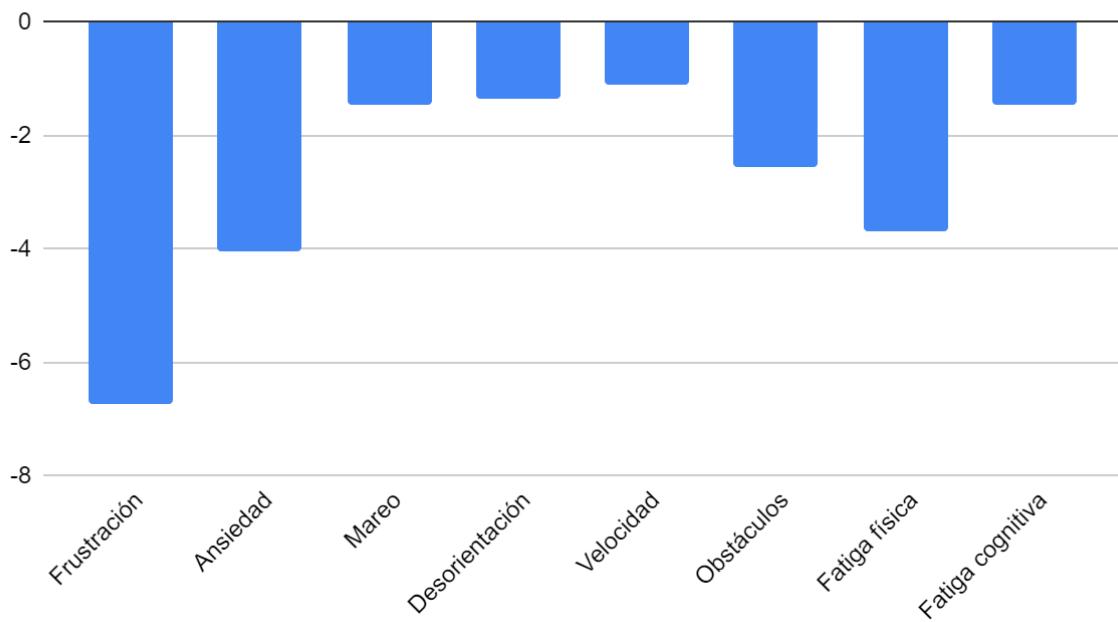


Figura 7.7.14: Gráfica de la media de problemas de la RV

De estos resultados podemos sacar algunas conclusiones. En primer lugar la gráfica de propiedades muestra que generalmente la experiencia de usuario ha sido bastante buena siendo la presencia y placer los parámetros más afectados, aún así tienen buenos valores. En esta gráfica un valor cercano a cero significa un valor estándar pero como estamos hablando de valores positivos en la experiencia un valor estándar significa una experiencia regular.

Por otro lado la gráfica de problemas muestra que los peores resultados se han visto en el mareo, desorientación, velocidad y fatiga cognitiva. En este caso, un valor cercano a cero es un valor estándar pero al estar tratando con aspectos negativos eso significa una mala experiencia.

Por lo tanto se puede concluir que generalmente la experiencia de usuario con estos métodos de desplazamiento ha sido buena. Cabe destacar el mareo sufrido por algunos usuarios con algunos métodos que implicaban un desplazamiento por el suelo no instantáneo ya que se creaba una disociación entre lo que el ojo ve y el cuerpo siente. Generalmente los usuarios se han sentido bastante inmersos pero no han experimentado placer ni han tenido presencia durante las pruebas.

A continuación se van a analizar los tiempos de los usuario para cada prueba y cada método de desplazamiento. Para ello se han creado ocho matrices, una para cada usuario, donde se apunta el tiempo tardado en una prueba concreta con un método concreto.

	Teletransporte	Arrastrado	En el sitio	Touchpad	Tirachinas
Velocidad	306,54				
Interacción			428,81		
Presencia		412,5			

Figura 7.7.15: Matriz de tiempos de un usuario

Con todas las matrices creadas que ha hecho una nueva matriz que contiene la media de todos los tiempos en cada casilla. El resto de matrices se pueden ver en el anexo.

	Teletransporte	Arrastrado	En el sitio	Touchpad	Tirachinas
Velocidad	437,0566667		703,345		435,9866667
Interacción	339,78	563,29	542,2033333	504,595	
Presencia	414,365	530,8433333	189,54	247,93	

Figura 7.7.16: Matriz de medias de tiempos

Gracias a esta matriz podemos visualizar qué método es más rápido para cada prueba. La siguiente gráfica representa mejor visualmente los resultados obtenidos.

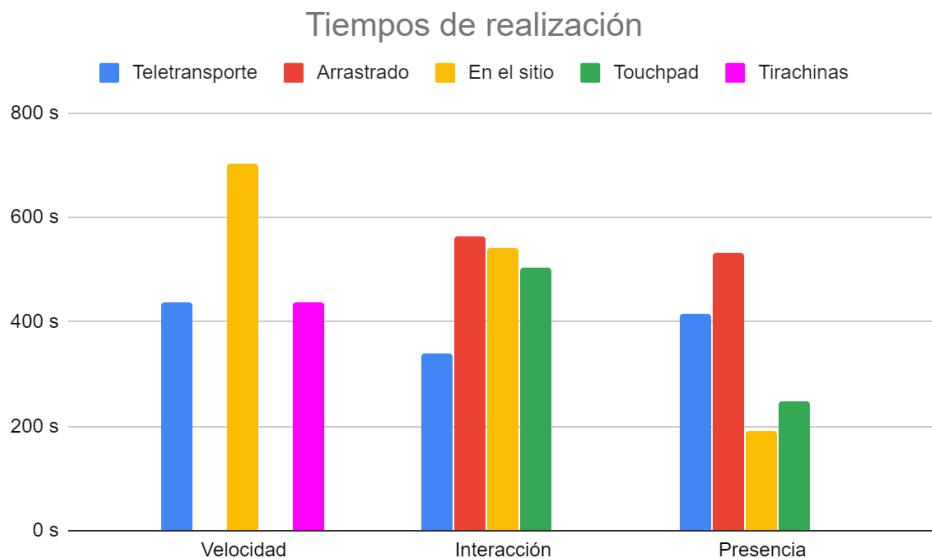


Figura 7.7.16: Gráfica de medias de tiempos

Es necesario indicar que el método de tirachinas solo ha sido usado para la prueba de velocidad ya que es el método más complicado y la prueba de velocidad es la más fácil. En la gráfica se puede ver que generalmente el teletransporte es el método más rápido en las tres pruebas. El método de arrastrado ha sido el más lento junto con el de en el sitio ya que eran métodos muy complicados de usar en pasarelas estrechas. Los usuarios se caían mucho con estos métodos lo que hacía que tardaran más en completar las zonas.

En último lugar vamos a analizar los resultados obtenidos por el cuestionario comparativo de métodos de desplazamiento. Para ello se han recopilado el total de puntos otorgados por cada usuario a cada método y se ha hecho la media.

CLASIFICACIÓN					
Teletransporte	Arrastrado	En el sitio	Touchpad	Tirachinas	
29	12	34	0	0	
37	0	38	24	0	
37	0	0	37	18	
36	40	35	0	0	
37	0	38	24	0	
32	15	31	0	0	
30	30	0	0	34	
0	0	40	28	25	
29,75	12,125	27	14,125	9,625	

Figura 7.7.17: Media de puntuaciones para los métodos de desplazamiento

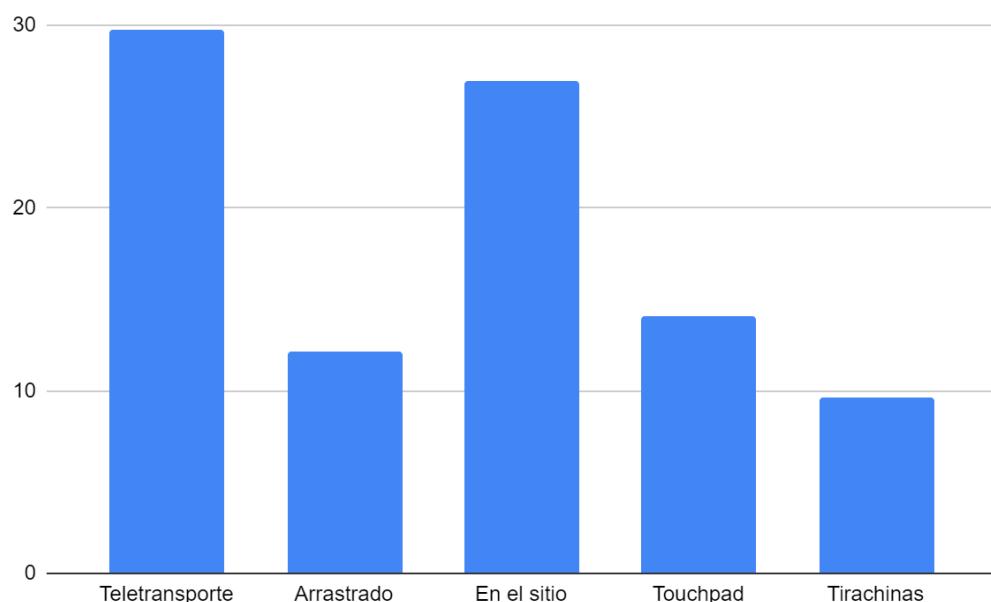


Figura 7.7.18: Gráfica de la media de puntuaciones para los métodos de desplazamiento

Claramente los métodos preferidos por los usuarios son el teletransporte y en el sitio, mientras el menos valorado es el tirachinas. Hay clara correlación entre la preferencia de estos dos métodos y los tiempos empleados en realizar las pruebas así como la experiencia de usuario expresada en los cuestionarios. El método de teletransporte era el más rápido de todos y no presentaba problemas en zonas más complicadas. La ventaja de en el sitio es que se asemeja mucho a los movimientos humanos al andar y podía ser controlado con más precisión. El resto de métodos eran mucho menos precisos lo que llevaba a frustrar a los usuarios y eso se ha visto reflejado en las puntuaciones.

8. Conclusiones

Se ha creado un proyecto el cual permite evaluar distintos métodos de desplazamiento en realidad virtual. Se ha analizado la experiencia de usuarios reales mientras recorren un circuito diseñado para simular las principales características que aparecen en entornos virtuales. Se ha podido ver cómo afectan los distintos métodos de desplazamiento a tareas de interacción y a la experiencia de usuario. Se ha sentado la base y se ha creado un modelo para analizar cualquier tipo de desplazamiento tanto en realidad virtual como con otras tecnologías.

He tenido la oportunidad de aprender en profundidad Unity, a diseñar objetos 3D y aprender el proceso de creación de videojuegos. Por otro lado he podido aprender también en profundidad la librería de realidad virtual VRTK. Tras finalizar todo el trabajo de desarrollo puedo afirmar que aunque es una librería muy útil y configurable, tiene numerosos bugs que han hecho muy difícil el desarrollo del proyecto y han afectado a la experiencia de usuario en ciertas ocasiones.

En cuanto a los resultados obtenidos durante las pruebas con usuarios, se puede decir que dependiendo de las características del entorno unos métodos de desplazamiento han resultado ser mejores que otros. Por ejemplo, en las zonas con la libertad de movimiento limitada como es el caso de pasarelas estrechas o escaleras que cuando te salías de ellas se penalizaba (caer al vacío), el método de teletransporte ha demostrado ser el más efectivo mientras que el resto han sido muy frustrantes para los usuarios. En otros entornos más sencillos como superficies planas, si bien el teletransporte sigue siendo más rápido, otros métodos han resultado más divertidos para los usuarios como por ejemplo el de moverse en el sitio e incluso el tirachinas, que siendo el más complejo y menos preciso, algunos usuarios han expresado que se han divertido avanzando.

Los mejores métodos de desplazamiento obtenidos en este estudio han sido el teletransporte seguido de en el sitio. Han sido superiores tanto en tiempo de realización de pruebas, como en la experiencia de usuario y en la comparación de métodos. Los peores métodos han sido tirachinas, arrastrado y touchpad en orden de peor a mejor. Esto se debe a como se ha comentado antes, su falta de precisión en el desplazamiento y ciertas molestias tales como mareo. Esto se debe a que con movimientos muy simples se realizaba un desplazamiento considerable. Por otro lado ese desplazamiento creaba una disociación entre las imágenes percibidas por los ojos y lo que sentía el usuario. Por ejemplo el usuario veía que se movía pero sin embargo no estaba realizando los movimientos naturales para ellos lo que causaba mareo. Estos mareos aparecen menos en el movimiento en el sitio ya que el usuario tenía que realizar movimientos más parecidos a los de andar. El teletransporte es el que menos mareos ha causado ya que el desplazamiento es instantáneo, la única pega es que en algunos usuarios causó desorientación como se pudo ver en la prueba del laberinto.

Aunque las pruebas con usuarios han sido escasas se han podido obtener resultados explicativos. He aprendido el funcionamiento de un estudio con usuarios reales a

a interpretar y transformar los datos obtenidos para poder sacar conclusiones y mostrarlas de manera comprensible para poder ser analizadas.

9. Trabajo futuro

Como trabajo futuro es necesario aumentar el grupo de estudio para poder sacar conclusiones más fiables. También sería interesante analizar el desempeño de los usuarios según su edad o conocimiento con la tecnología. Las nuevas pruebas con usuarios también deberán cubrir métodos y pruebas que no se han hecho en conjunto como por ejemplo el método de tirachinas con la prueba de interacción. Deberá haber un número considerable de pruebas en cada caso para poder obtener nuevos y más datos.

El proyecto desarrollado se ha hecho para realidad virtual pero se ha pensado para que pueda ser adaptado y usado con otro métodos de interacción tales como controladores clásicos, realidad aumentada, dispositivos móviles o posibles nuevas tecnologías que surjan.

10. Bibliografía

- [1] Facebook unveils a VR headset it wants in the homes of one billion users. (2017). *ABC News*.
<https://www.abc.net.au/news/2017-10-12/facebook-mark-zuckerbergs-vr-gamble/9041904>
- [2] Sherman, W. R., Craig, A.B., (2019), *Understanding Virtual Reality: Interface, Application, and Design*, Estados Unidos, Morgan Kaufman.
- [3] Joe Bardi (2019). What is Virtual Reality? [Definition and Examples]. Marxent.
<https://www.marxentlabs.com/what-is-virtual-reality/>
- [4] Mohan, V. Lukas, S. Pangilinan, E. (2019) *Creating Augmented and Virtual Realities*. Estados Unidos: O'Reilly
- [5] The Ultimate VR Headset Comparison Table: Every VR Headset Compared (2019). threesixtycameras. <https://www.threesixtycameras.com/vr-headset-comparison-table/>
- [6] Bowman, D.A., Kruijff, E., Laviola, J.J., Poupyrev I., 2004. 3D User Interfaces: Theory and Practice
- [7] Jung, J., Park, H., Hwang, D., Son, M., Beck, D., Park, J., & Park, W. (2013). A Review on Interaction Techniques in Virtual Environments.
- [8] Hi5 VR GLOVE. (2019). Noitom. <https://www.noitom.com/index.php/solutions/hi5-vr-glove>
- [9] Gypsy 7 Motion Capture System. (2019). MetaMotion.
<http://metamotion.com/gypsy/gypsy-motion-capture-system.htm>
- [10] Mando inalámbrico de Xbox. (2019). Xbox.
<https://www.xbox.com/es-ES/xbox-one/accessories/controllers/xbox-wireless-controller>
- [11] Berenguel, J. L., Gutiérrez, F. L., Paderewski, P., Pérez, D., (2018). Desarrollo de un Modelo Estándar de Interacción para Entornos Virtuales.
- [12] UVRF - Handpresence template for Rift / Vive. (2019). Forums Unreal Engine.
<https://forums.unrealengine.com/development-discussion/vr-ar-development/1381972-uavr-handpresence-template-for-rift-vive-free-shooting-range-update-1-3-laser-interactions>
- [13] T. T. Elvins, 1997 Wayfinding 2: The lost world
- [14] Owatch. (2019). stekiamusement. <https://www.stekiamusement.com/vr-flight-simulator-virtual-reality-flying-machine/>
- [15] The Climb. (2019). theclimbgame. <http://www.theclimbgame.com/>
- [16] Fibrum rollercoaste.r (2019). fibrum. <http://fibrum.com/vrapps>
- [17] Virtuix Omni. (2019). virtuix. <http://www.virtuix.com/>
- [18] Issues and Challenges. (2017). Tecnico.
<http://web.tecnico.ulisboa.pt/ist188480/cmul/issues.html>
- [19] Bhandari, J., MacNeilage, P., Folmer, E.,(2018). Teleportation without Spatial Disorientation Using Optical Flow Cues
- [20] Vive Enterprise. (2019). Vive Enterprise. <https://enterprise.vive.com/us/>
- [21] Requisitos del sistema para la Unity versión@. (2019). Unity3D.
<https://unity3d.com/es/unity/system-requirements>
- [22] SteamVR. (2019). store steampowered. <https://store.steampowered.com/app/250820/SteamVR/>
- [23] Requirements. (2019). Blender. <https://www.blender.org/download/requirements/>
- [24] Manifiesto por el Desarrollo Ágil de Software. (2001). Agile Manifesto.
<https://agilemanifesto.org/iso/es/manifesto.html>

- [25] Advancing the Practice of Agile (2019). Agile alliance. <https://www.agilealliance.org/>
- [26] Qué es SCRUM. (2019). Proyectos ágiles. <https://proyectosagiles.org/que-es-scrum/>
- [27] Reference. (2019). Git. <https://git-scm.com/docs>
- [28] Bitbucket Cloud documentation. (2019). Atlassian.
<https://confluence.atlassian.com/bitbucket/bitbucket-cloud-documentation-221448814.html>
- [29] Tutoriales. (2019). Unity 3D. <https://unity3d.com/es/learn/tutorials>
- [30] Virtual Reality Toolkit (2019). Youtube. <https://www.youtube.com/channel/UCWRk-LEMUNoZxUmY1wO7DBQ>
- [31] Tcha-Tokey, K., Christmann, O., Loup-Escande, E., Richir, S. (2016). Proposition and Validation of a Questionnaire to Measure the User Experience in Immersive Virtual Environments.
- [32] Guerreo, B., Valero, A. (2013). Efectos secundarios tras el uso de realidad virtual inmersiva en un videojuego.
- [33] Chertoff, D. B., Goldiez, B., LaViola, J. J. (2010). Virtual Experience Test: A Virtual Environment Evaluation Questionnaire.

Anexos

Manifiesto ágil

- Nuestra mayor prioridad es satisfacer al cliente mediante la entrega temprana y continua de software con valor.
- Aceptamos que los requisitos cambien, incluso en etapas tardías del desarrollo. Los procesos Ágiles aprovechan el cambio para proporcionar ventaja competitiva al cliente.
- Entregamos software funcional frecuentemente, entre dos semanas y dos meses, con preferencia al periodo de tiempo más corto posible.
- Los responsables de negocio y los desarrolladores trabajamos juntos de forma cotidiana durante todo el proyecto.
- Los proyectos se desarrollan en torno a individuos motivados. Hay que darles el entorno y el apoyo que necesitan, y confiarles la ejecución del trabajo.
- El método más eficiente y efectivo de comunicar información al equipo de desarrollo y entre sus miembros es la conversación cara a cara.
- El software funcionando es la medida principal de progreso.
- Los procesos Ágiles promueven el desarrollo sostenible. Los promotores, desarrolladores y usuarios debemos ser capaces de mantener un ritmo constante de forma indefinida.
- La atención continua a la excelencia técnica y al buen diseño mejora la Agilidad.
- La simplicidad, o el arte de maximizar la cantidad de trabajo no realizado, es esencial.
- Las mejores arquitecturas, requisitos y diseños emergen de equipos auto-organizados.
- A intervalos regulares el equipo reflexiona sobre cómo ser más efectivo para a continuación ajustar y perfeccionar su comportamiento en consecuencia.

Tabla de ponderaciones de propiedades de la RV

Preguntas	Gymkhana									Total	
	Ponderación por componente										
	Propiedades de la RV										
	Presencia	Inmersión	Credibilidad	Naturaleza	Diversión	Placer	Satisfacción	Precisión			
El entorno virtual respondía a mis acciones de forma natural	15	10	5	50			5	15	100		
Mi movimiento por el entorno virtual resultó natural	10	20		40	10		5	15	100		
Podía examinar los objetos virtuales en detalle	20	20	15	5			10	30	100		
Podía examinar los objetos virtuales desde distintos ángulos	20	15	10	5	10		10	30	100		
La forma en que usé los gamepads me distrajo de las tareas que debía realizar		-30	-30	-30			-10			-100	
La sensación de mi movimiento por el entorno era convincente	30	20	20	20			10		100		
Me sentía inmerso/a por completo en el entorno virtual	20	30	20	20			10		100		
Me olvidé de las cosas que me rodeaban en el mundo real		30	30		10	15	15		100		
Perdí la noción del tiempo mientras estaba en el entorno virtual	10	20	10		30	15	15		100		
Sentí que podía explorar el entorno a mi antojo		20	20	20	10	10	20		100		
Me resultó fácil usar los gamepads para moverme por el entorno virtual			20	20	10	10	20	20	100		
La gymkhana me resultó emocionante		10	10		40	20	20		100		
La gymkhana me resultó aburrida					-60	-30	-10		-100		
La gymkhana me resultó desafiante					-60	-30	-10		-100		
La gymkhana me resultó sencilla				20	40	20	10	10	100		
Fui capaz de controlar mis acciones sin problema		20		40	10	10		20	100		
Fui capaz de interactuar con el entorno virtual a la perfección	20	20	40	20					100		
Estaba muy concentrado/a durante la gymkhana		20	40	20			20		100		
Me preocupaba llevar a cabo las tareas correctamente					-30	-30	-20	-20	-100		
Me sentí feliz al completar una tarea con éxito					30	30	40		100		
Me sentí mal al fallar una tarea					-30	-30	-40		-100		

Sentí presión a la hora de realizar las tareas correctamente					-25		-25	-50	-100
Sentí presión a la hora de realizar las tareas en poco tiempo					-25		-25	-50	-100
Me sentí cómodo/a usando los gamepads	30	30	30			10			100
Me costaba prestar atención a los elementos del entorno virtual	-60	-30					-10		-100
En todo momento era consciente de mi posición en el entorno virtual	50	20	10	10			10		100
En todo momento era consciente de mi posición en el mundo real	50	20	10	10			10		100
En algún momento sentí vértigo				-20	-20	-30	-30		-100
En algún momento sentí que me mareaba			-10	-20	-20	-30	-20		-100
En algún momento sentí molestias oculares			-10	-20	-20	-30	-20		-100
En algún momento sentí molestias en las manos o los brazos			-10	-20	-20	-30	-20		-100
% Peso total de cada componente	35,00 %	33,57 %	28,57 %	31,43 %	15,71 %	15,71 %	1,43 %	1,43 %	700

Tabla de ponderaciones de los problemas de la RV

Preguntas	Gymkhana								Total	
	Problemas de la RV									
	Frustración	Ansiiedad	Mareo	Desorientación	Velocidad	Obstáculos	Fatiga física	Fatiga cognitiva		
El entorno virtual respondía a mis acciones de forma natural	-40	-20					-20	-20	100	
Mi movimiento por el entorno virtual resultó natural	-20		-30	-30		-10	-10		100	
Podía examinar los objetos virtuales en detalle	-30				-20	-20	-20	-10	100	
Podía examinar los objetos virtuales desde distintos ángulos	-30				-20	-20	-20	-10	100	
La forma en que usé los gamepads me distrajo de las tareas que debía realizar	30	30					20	20	100	
La sensación de mi movimiento por el entorno era convincente	-20		-20	-20	-10	-10		-20	100	
Me sentía inmerso/a por completo en el entorno virtual	-20	-10	-10	-30		-20		-10	100	
Me olvidé de las cosas que me rodeaban en el mundo real	20	10	10	30		20		10	100	
Perdí la noción del tiempo mientras estaba en el entorno virtual	20	10	10	30		20		10	100	
Sentí que podía explorar el entorno a mi antojo	-30	-10		-20		-20		-20	100	
Me resultó fácil usar los gamepads para moverme por el entorno virtual	-30	-20			-20	-20	-10		100	
La gymkhana me resultó emocionante	-30	-30				-20	-10	-10	100	
La gymkhana me resultó aburrida	40	20				20	10	10	100	
La gymkhana me resultó desafiante	40	20				20	10	10	100	
La gymkhana me resultó sencilla	-40	-20				-20	-10	-10	100	
Fui capaz de controlar mis acciones sin problema	-30	-20				-30	-20		100	
Fui capaz de interactuar con el entorno virtual a la perfección	-30	-20				-30	-20		100	
Estaba muy concentrado/a durante la gymkhana	30	20					10	40	100	
Me preocupaba llevar a cabo las tareas correctamente	30	20					10	40	100	
Me sentí feliz al completar una tarea con éxito	-50	-40						-10	100	
Me sentí mal al fallar una tarea	50	40						10	100	
Sentí presión a la hora de realizar las tareas correctamente	50	40						10	100	
Sentí presión a la hora de realizar las	50	40						10	100	

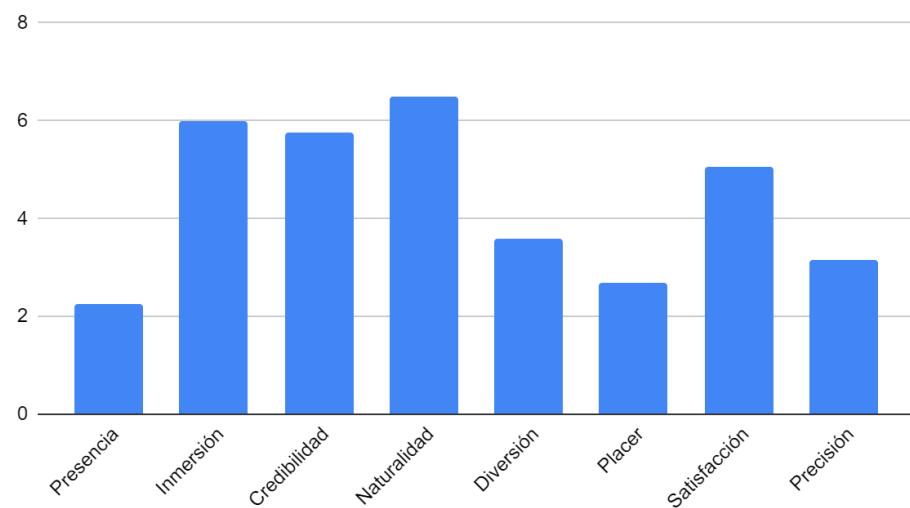
tareas en poco tiempo											
Me sentí cómodo/a usando los gamepads	-40	-30						-30			100
Me costaba prestar atención a los elementos del entorno virtual	40	20		20		20					100
En todo momento era consciente de mi posición en el entorno virtual	-20	-20		-50		-10					100
En todo momento era consciente de mi posición en el mundo real	-20	-20		-50		-10					100
En algún momento sentí vértigo		30	70								100
En algún momento sentí que me mareaba		30	70								100
En algún momento sentí molestias oculares		20						60	20		100
En algún momento sentí molestias en las manos o los brazos		10						70	20		100
% Peso total de cada componente	80,00 %	140,00 %	- 60,00 %	120,00 %	70,00 %	140,00 %	20,00 %	90,00 %	- -		100

Cuestionarios de los usuarios

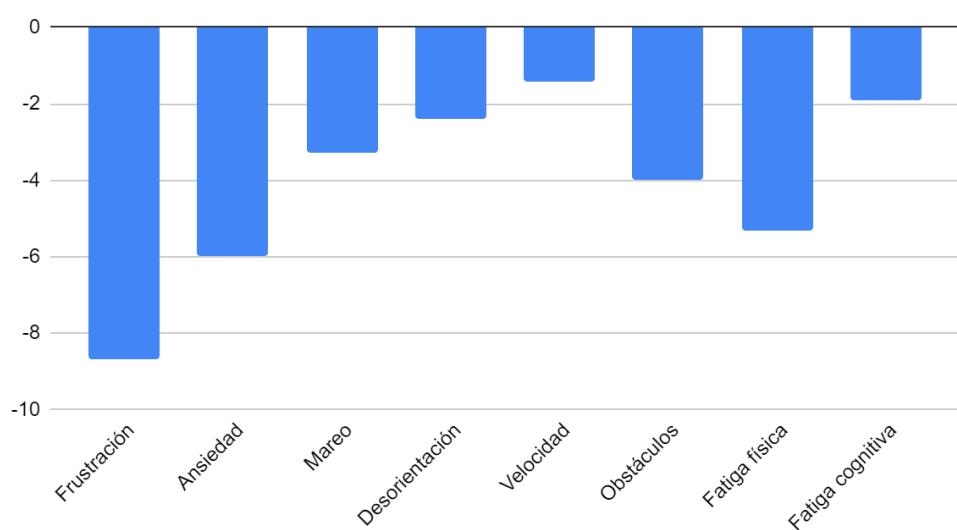
Prueba 1

Pregunta	Respuesta
El entorno virtual respondía a mis acciones de forma natural	4
Mi movimiento por el entorno virtual resultó natural	5
Podía examinar los objetos virtuales en detalle	5
Podía examinar los objetos virtuales desde distintos ángulos	5
La forma en que usé los gamepads me distrajo de las tareas que debía realizar	1
La sensación de mi movimiento por el entorno era convincente	5
Me sentía inmerso/a por completo en el entorno virtual	5
Me olvidé de las cosas que me rodeaban en el mundo real	4
Perdí la noción del tiempo mientras estaba en el entorno virtual	2
Sentí que podía explorar el entorno a mi antojo	5
Me resultó fácil usar los gamepads para moverme por el entorno virtual	5
La gymkhana me resultó emocionante	4
La gymkhana me resultó aburrida	1
La gymkhana me resultó desafiante	4
La gymkhana me resultó sencilla	4
Fui capaz de controlar mis acciones sin problema	4
Fui capaz de interactuar con el entorno virtual a la perfección	4
Estaba muy concentrado/a durante la gymkhana	5
Me preocupaba llevar a cabo las tareas correctamente	5
Me sentí feliz al completar una tarea con éxito	5
Me sentí mal al fallar una tarea	3
Sentí presión a la hora de realizar las tareas correctamente	2
Sentí presión a la hora de realizar las tareas en poco tiempo	2
Me sentí cómodo/a usando los gamepads	5
Me costaba prestar atención a los elementos del entorno virtual	1
En todo momento era consciente de mi posición en el entorno virtual	4
En todo momento era consciente de mi posición en el mundo real	2
En algún momento sentí vértigo	1
En algún momento sentí que me mareaba	2
En algún momento sentí molestias oculares	1
En algún momento sentí molestias en las manos o los brazos	1

Propiedades de la RV



Problemas de la RV

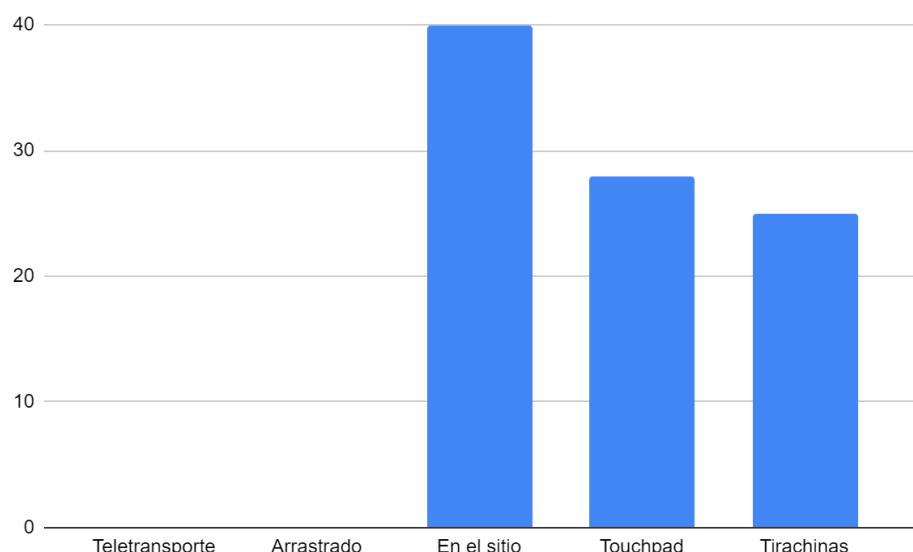


TIEMPOS											Orientación	
Prueba	Método	Tiempo (segundos)										
		Zona 0	Zona 1	Zona 2	Zona 3	Zona 4	Zona 5	Zona 6	Zona 7	Total		
Velocidad	Tirachinas	48,8	33,4	16,58	44,74	112,8	55,04	12,62	16,33	340,31		
Interacción	Touchpad	27,14	49,39	13,01	29,8	77,8	17,5	21,23	17,6	253,47	Fuera de rango	
		Baliza	Baliza	Baliza								

		1	2	3							
Presen cia	En el sitio	29	88,66	71,88							189,54

Clasifica las distintas técnicas según la facilidad de uso (siendo 0 muy difícil y 5 muy fácil)											
Teletransp orte	Arrastrado	En el sitio	Touchpad	Tirachinas							
		5	4	3							
Clasifica las distintas técnicas según la facilidad de aprendizaje (siendo 0 muy difícil y 5 muy fácil)											
Teletransp orte	Arrastrado	En el sitio	Touchpad	Tirachinas							
		5	3	4							
Clasifica las distintas técnicas según la comodidad presentada para navegar por el entorno virtual (siendo 0 nada cómodo y 5 muy cómodo)											
Teletransp orte	Arrastrado	En el sitio	Touchpad	Tirachinas							
		5	4	3							
Clasifica las distintas técnicas según la similitud con la realidad (siendo 0 nada similar y 5 muy similar)											
Teletransp orte	Arrastrado	En el sitio	Touchpad	Tirachinas							
		5	1	3							
Clasifica las distintas técnicas según la sensación de naturalidad presentada (siendo 0 nada natural y 5 muy natural)											
Teletransp orte	Arrastrado	En el sitio	Touchpad	Tirachinas							
		5	4	3							
Clasifica las distintas técnicas según la libertad de movimiento por el entorno virtual presentada (siendo 0 muy restringida y 5 nada restringida)											
Teletransp orte	Arrastrado	En el sitio	Touchpad	Tirachinas							
		5	4	2							
Clasifica las distintas técnicas según la levedad de las molestias sentidas durante su uso (siendo 0 muy graves y 5 imperceptibles)											
Teletransp orte	Arrastrado	En el sitio	Touchpad	Tirachinas							

		5	5	3			
Clasifica las distintas técnicas según tu preferencia de uso en una aplicación de RV (siendo 0 nada preferente y 5 muy preferente)							
Teletransporte	Arrastrado	En el sitio	Touchpad	Tirachinas			
		5	3	4			
TOTAL							
Teletransporte	Arrastrado	En el sitio	Touchpad	Tirachinas			
0	0	40	28	25			

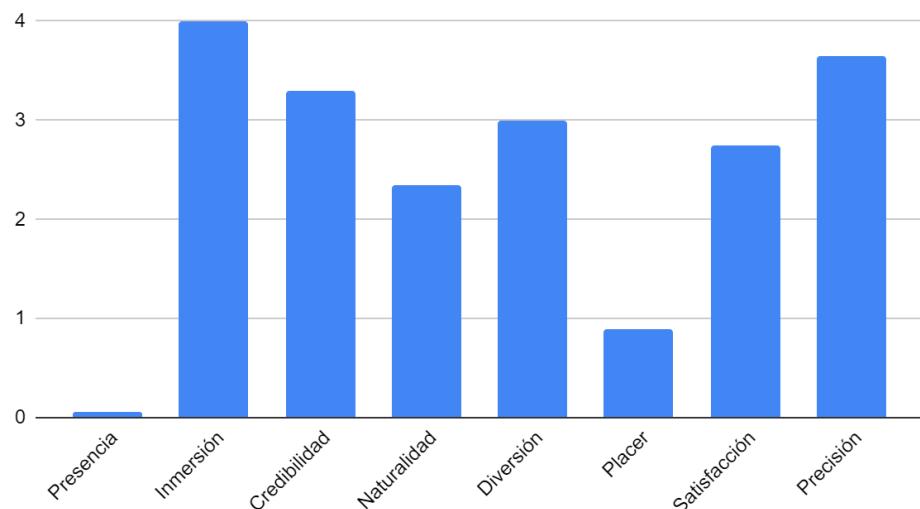


Prueba 2

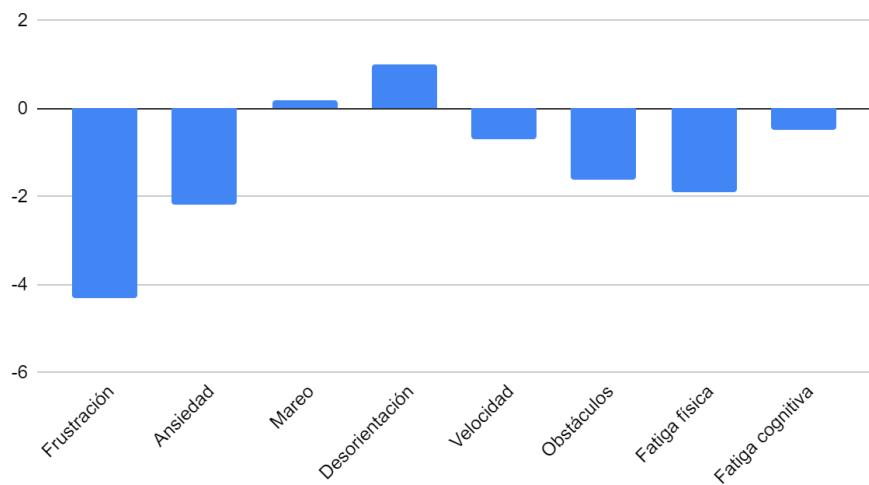
Pregunta	Respuesta
El entorno virtual respondía a mis acciones de forma natural	4
Mi movimiento por el entorno virtual resultó natural	5
Podía examinar los objetos virtuales en detalle	4
Podía examinar los objetos virtuales desde distintos ángulos	5
La forma en que usé los gamepads me distrajo de las tareas que debía realizar	5
La sensación de mi movimiento por el entorno era convincente	4
Me sentía inmerso/a por completo en el entorno virtual	5
Me olvidé de las cosas que me rodeaban en el mundo real	5
Perdí la noción del tiempo mientras estaba en el entorno virtual	5

Sentí que podía explorar el entorno a mi antojo	5
Me resultó fácil usar los gamepads para moverme por el entorno virtual	3
La gymkhana me resultó emocionante	4
La gymkhana me resultó aburrida	2
La gymkhana me resultó desafiante	4
La gymkhana me resultó sencilla	4
Fui capaz de controlar mis acciones sin problema	3
Fui capaz de interactuar con el entorno virtual a la perfección	4
Estaba muy concentrado/a durante la gymkhana	5
Me preocupaba llevar a cabo las tareas correctamente	3
Me sentí feliz al completar una tarea con éxito	5
Me sentí mal al fallar una tarea	5
Sentí presión a la hora de realizar las tareas correctamente	1
Sentí presión a la hora de realizar las tareas en poco tiempo	1
Me sentí cómodo/a usando los gamepads	4
Me costaba prestar atención a los elementos del entorno virtual	1
En todo momento era consciente de mi posición en el entorno virtual	1
En todo momento era consciente de mi posición en el mundo real	1
En algún momento sentí vértigo	3
En algún momento sentí que me mareaba	3
En algún momento sentí molestias oculares	4
En algún momento sentí molestias en las manos o los brazos	1

Propiedades de la RV



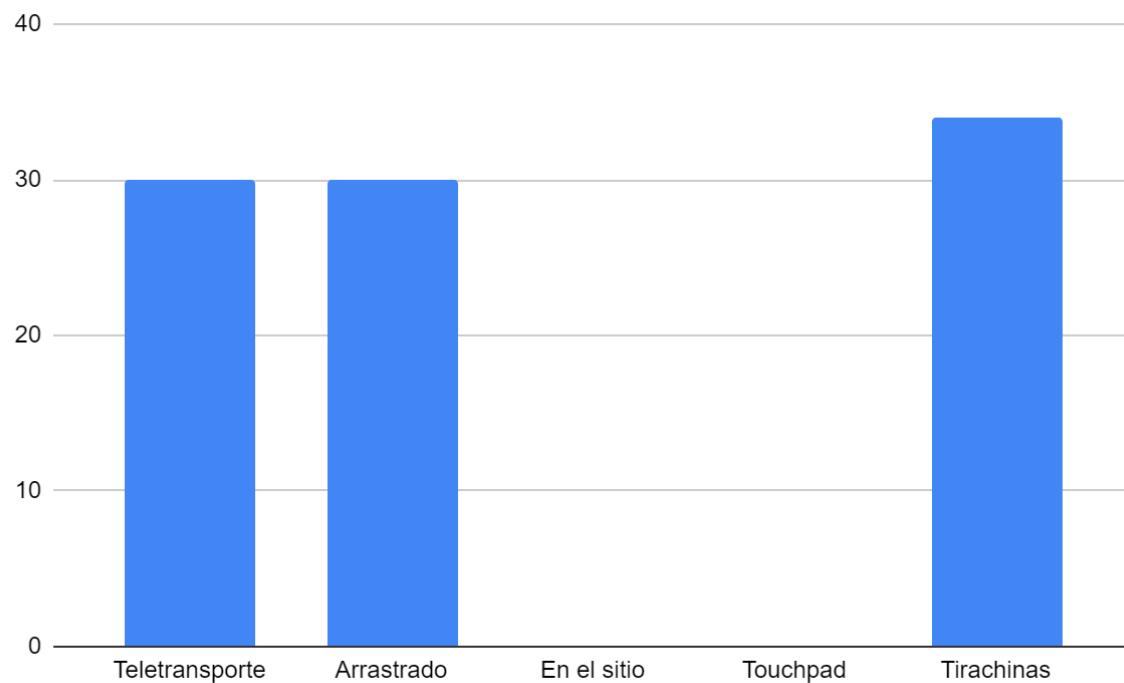
Problemas de la RV



TIEMPOS											Orientación	
Prueba	Método	Tiempo (segundos)										
		Zona 0	Zona 1	Zona 2	Zona 3	Zona 4	Zona 5	Zona 6	Zona 7	Total		
Velocidad	Tirachinas	175,7	50,17	24,22	126,1	82,7	50,9	25,7	18,9	554,39		
Interacción	Teletransporte	46,4	106,3	42	22,55	69,2	40,7	64,78	12,8	404,73	20	
		Baliza 1	Baliza 2	Baliza 3								
Presencia	Arrastrado	55,1	324,16	139,5						518,76		

Clasifica las distintas técnicas según la facilidad de uso (siendo 0 muy difícil y 5 muy fácil)				
Teletransporte	Arrastrado	En el sitio	Touchpad	Tirachinas
5	3			4
Clasifica las distintas técnicas según la facilidad de aprendizaje (siendo 0 muy difícil y 5 muy fácil)				
Teletransporte	Arrastrado	En el sitio	Touchpad	Tirachinas
3	5			4
Clasifica las distintas técnicas según la comodidad presentada para navegar por el entorno virtual (siendo 0 nada cómodo y 5 muy cómodo)				
Teletransporte	Arrastrado	En el sitio	Touchpad	Tirachinas
3	4			5

Clasifica las distintas técnicas según la similitud con la realidad (siendo 0 nada similar y 5 muy similar)						
Teletransporte	Arrastrado	En el sitio	Touchpad	Tirachinas		
3	4			5		
Clasifica las distintas técnicas según la sensación de naturalidad presentada (siendo 0 nada natural y 5 muy natural)						
Teletransporte	Arrastrado	En el sitio	Touchpad	Tirachinas		
3	4			5		
Clasifica las distintas técnicas según la libertad de movimiento por el entorno virtual presentada (siendo 0 muy restringida y 5 nada restringida)						
Teletransporte	Arrastrado	En el sitio	Touchpad	Tirachinas		
5	4			3		
Clasifica las distintas técnicas según la levedad de las molestias sentidas durante su uso (siendo 0 muy graves y 5 imperceptibles)						
Teletransporte	Arrastrado	En el sitio	Touchpad	Tirachinas		
4	3			3		
Clasifica las distintas técnicas según tu preferencia de uso en una aplicación de RV (siendo 0 nada preferente y 5 muy preferente)						
Teletransporte	Arrastrado	En el sitio	Touchpad	Tirachinas		
4	3			5		
TOTAL						
Teletransporte	Arrastrado	En el sitio	Touchpad	Tirachinas		
30	30	0	0	34		

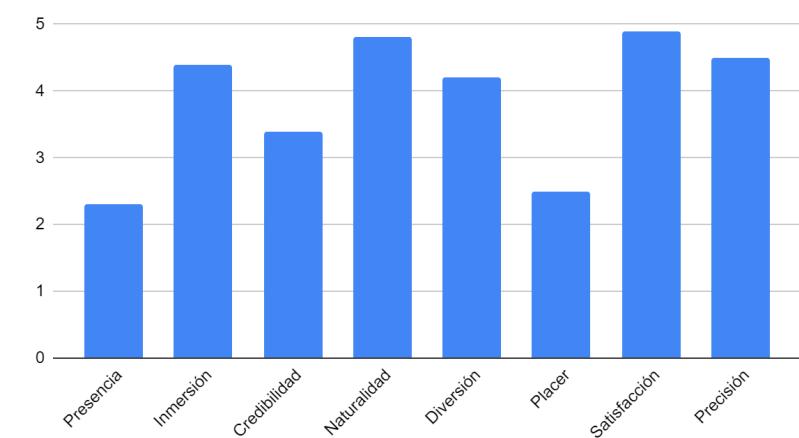


Prueba 3

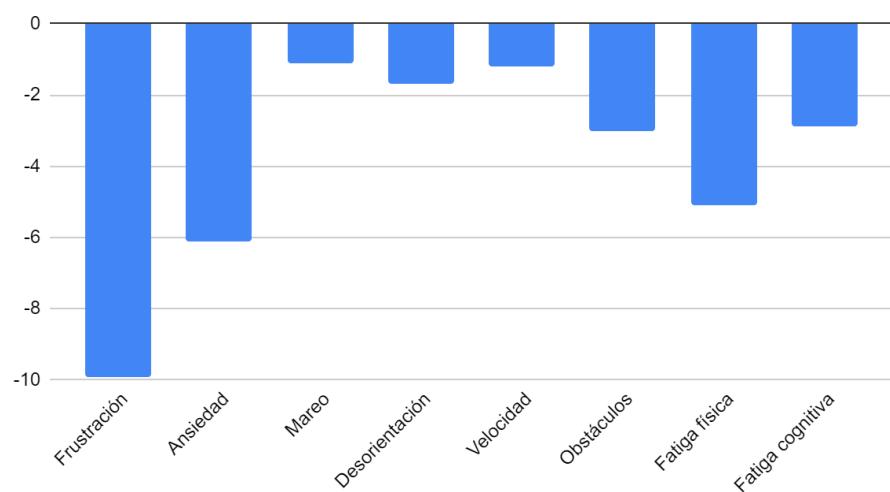
Pregunta	Respuesta
El entorno virtual respondía a mis acciones de forma natural	5
Mi movimiento por el entorno virtual resultó natural	5
Podía examinar los objetos virtuales en detalle	5
Podía examinar los objetos virtuales desde distintos ángulos	5
La forma en que usé los gamepads me distrajo de las tareas que debía realizar	2
La sensación de mi movimiento por el entorno era convincente	5
Me sentía inmerso/a por completo en el entorno virtual	4
Me olvidé de las cosas que me rodeaban en el mundo real	3
Perdí la noción del tiempo mientras estaba en el entorno virtual	3
Sentí que podía explorar el entorno a mi antojo	3
Me resultó fácil usar los gamepads para moverme por el entorno virtual	4
La gymkhana me resultó emocionante	3
La gymkhana me resultó aburrida	3
La gymkhana me resultó desafiante	2
La gymkhana me resultó sencilla	4
Fui capaz de controlar mis acciones sin problema	4
Fui capaz de interactuar con el entorno virtual a la perfección	4
Estaba muy concentrado/a durante la gymkhana	4

Me preocupaba llevar a cabo las tareas correctamente	3
Me sentí feliz al completar una tarea con éxito	5
Me sentí mal al fallar una tarea	1
Sentí presión a la hora de realizar las tareas correctamente	1
Sentí presión a la hora de realizar las tareas en poco tiempo	1
Me sentí cómodo/a usando los gamepads	4
Me costaba prestar atención a los elementos del entorno virtual	1
En todo momento era consciente de mi posición en el entorno virtual	5
En todo momento era consciente de mi posición en el mundo real	1
En algún momento sentí vértigo	1
En algún momento sentí que me mareaba	5
En algún momento sentí molestias oculares	1
En algún momento sentí molestias en las manos o los brazos	1

Propiedades de la RV



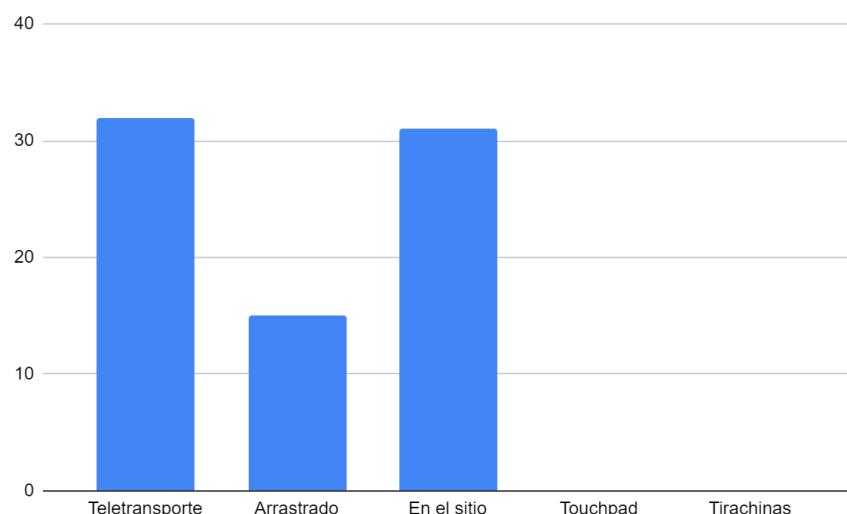
Problemas de la RV



TIEMPOS												
Prueba	Método	Tiempo (segundos)										Orientación
		Zona 0	Zona 1	Zona 2	Zona 3	Zona 4	Zona 5	Zona 6	Zona 7	Total		
Velocidad	En el sitio	167,8	35,97	15,91	75,26	224,9	106,21	13,04	32,3	671,39		
Interacción	Arrastrado	21,25	73,1	23,62	116,22	76,14	160,16	78	14,8	563,29	14,7	
		Baliza 1	Baliza 2	Baliza 3								
Presencia	Teletransporte	68,81	83,13	126,06							278	

Clasifica las distintas técnicas según la facilidad de uso (siendo 0 muy difícil y 5 muy fácil)												
Teletransporte	Arrastrado	En el sitio	Touchpad	Tirachinas								
	5	2	4									
Clasifica las distintas técnicas según la facilidad de aprendizaje (siendo 0 muy difícil y 5 muy fácil)												
Teletransporte	Arrastrado	En el sitio	Touchpad	Tirachinas								
	4	3	5									
Clasifica las distintas técnicas según la comodidad presentada para navegar por el entorno virtual (siendo 0 nada cómodo y 5 muy cómodo)												
Teletransporte	Arrastrado	En el sitio	Touchpad	Tirachinas								
	5	2	4									
Clasifica las distintas técnicas según la similitud con la realidad (siendo 0 nada similar y 5 muy similar)												
Teletransporte	Arrastrado	En el sitio	Touchpad	Tirachinas								
	0	1	3									
Clasifica las distintas técnicas según la sensación de naturalidad presentada (siendo 0 nada natural y 5 muy natural)												
Teletransporte	Arrastrado	En el sitio	Touchpad	Tirachinas								
	3	1	4									
Clasifica las distintas técnicas según la libertad de movimiento por el entorno virtual presentada (siendo 0 muy restringida y 5 nada restringida)												

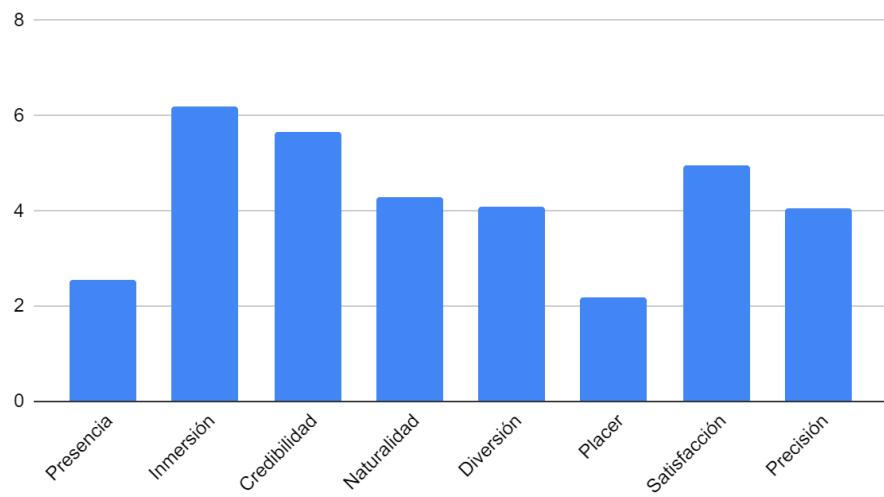
Teletransporte	Arrastrado	En el sitio	Touchpad	Tirachinas			
5	3	4					
Clasifica las distintas técnicas según la levedad de las molestias sentidas durante su uso (siendo 0 muy graves y 5 imperceptibles)							
Teletransporte	Arrastrado	En el sitio	Touchpad	Tirachinas			
5	1	3					
Clasifica las distintas técnicas según tu preferencia de uso en una aplicación de RV (siendo 0 nada preferente y 5 muy preferente)							
Teletransporte	Arrastrado	En el sitio	Touchpad	Tirachinas			
5	2	4					
TOTAL							
Teletransporte	Arrastrado	En el sitio	Touchpad	Tirachinas			
32	15	31	0	0			



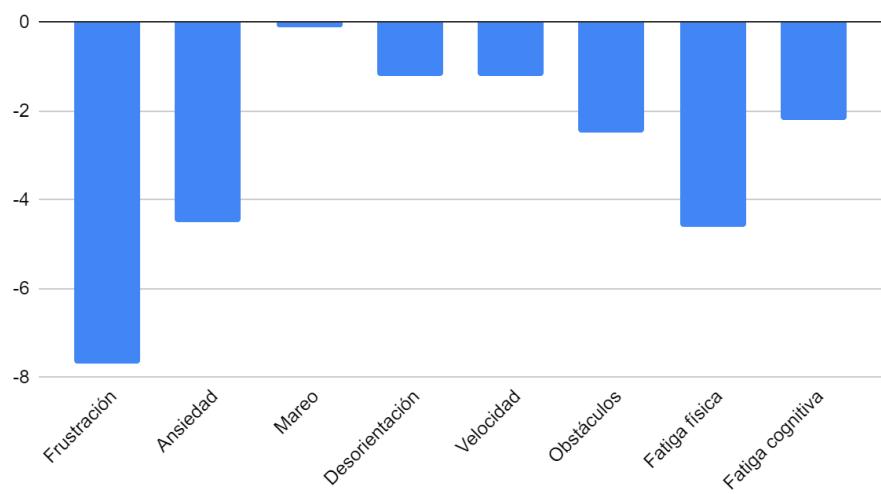
Prueba 4

Pregunta	Respuesta
El entorno virtual respondía a mis acciones de forma natural	4
Mi movimiento por el entorno virtual resultó natural	5
Podía examinar los objetos virtuales en detalle	5
Podía examinar los objetos virtuales desde distintos ángulos	5
La forma en que usé los gamepads me distrajo de las tareas que debía realizar	2
La sensación de mi movimiento por el entorno era convincente	5
Me sentía inmerso/a por completo en el entorno virtual	5
Me olvidé de las cosas que me rodeaban en el mundo real	5
Perdí la noción del tiempo mientras estaba en el entorno virtual	5
Sentí que podía explorar el entorno a mi antojo	5
Me resultó fácil usar los gamepads para moverme por el entorno virtual	4
La gymkhana me resultó emocionante	5
La gymkhana me resultó aburrida	1
La gymkhana me resultó desafiante	5
La gymkhana me resultó sencilla	3
Fui capaz de controlar mis acciones sin problema	3
Fui capaz de interactuar con el entorno virtual a la perfección	4
Estaba muy concentrado/a durante la gymkhana	5
Me preocupaba llevar a cabo las tareas correctamente	3
Me sentí feliz al completar una tarea con éxito	5
Me sentí mal al fallar una tarea	3
Sentí presión a la hora de realizar las tareas correctamente	1
Sentí presión a la hora de realizar las tareas en poco tiempo	1
Me sentí cómodo/a usando los gamepads	4
Me costaba prestar atención a los elementos del entorno virtual	1
En todo momento era consciente de mi posición en el entorno virtual	5
En todo momento era consciente de mi posición en el mundo real	1
En algún momento sentí vértigo	5
En algún momento sentí que me mareaba	2
En algún momento sentí molestias oculares	1
En algún momento sentí molestias en las manos o los brazos	1

Propiedades de la RV



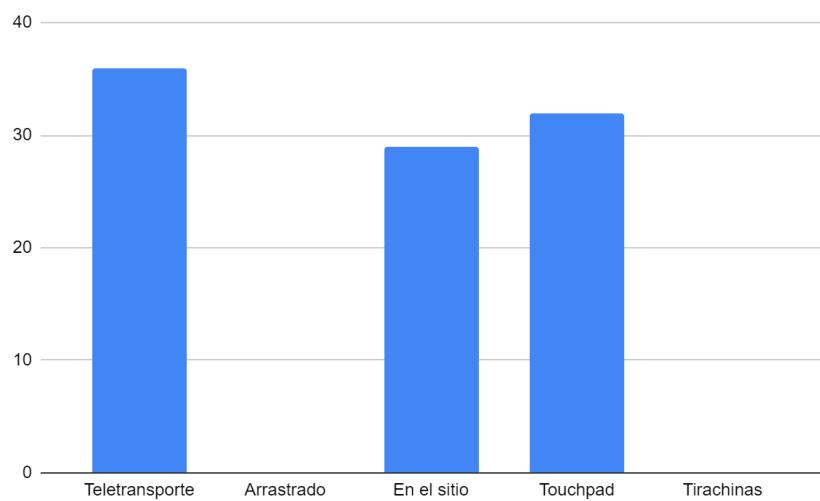
Problemas de la RV



TIEMPOS													Orientación	
Prueba	Método	Tiempo (segundos)												
		Zona 0	Zona 1	Zona 2	Zona 3	Zona 4	Zona 5	Zona 6	Zona 7	Total				
Velocidad	En el sitio	230	27,75	23,22	56,45	270,58	86,6	11,4	29,3	735,3				
Interacción	Touchpad	103,68	159,91	18,34	101,5	107,7	119,2	117,04	28,35	755,72	10			
		Baliza 1	Baliza 2	Baliza 3										
Presencia	Teletransporte	100,37	229,33	221,03						550,73				

Clasifica las distintas técnicas según la facilidad de uso (siendo 0 muy difícil y 5 muy fácil)					
Teletransporte	Arrastrado	En el sitio	Touchpad	Tirachinas	
5		3	4		
Clasifica las distintas técnicas según la facilidad de aprendizaje (siendo 0 muy difícil y 5 muy fácil)					
Teletransporte	Arrastrado	En el sitio	Touchpad	Tirachinas	
5		3	4		
Clasifica las distintas técnicas según la comodidad presentada para navegar por el entorno virtual (siendo 0 nada cómodo y 5 muy cómodo)					
Teletransporte	Arrastrado	En el sitio	Touchpad	Tirachinas	
5		3	4		
Clasifica las distintas técnicas según la similitud con la realidad (siendo 0 nada similar y 5 muy similar)					
Teletransporte	Arrastrado	En el sitio	Touchpad	Tirachinas	
2		5	3		
Clasifica las distintas técnicas según la sensación de naturalidad presentada (siendo 0 nada natural y 5 muy natural)					
Teletransporte	Arrastrado	En el sitio	Touchpad	Tirachinas	
4		5	5		
Clasifica las distintas técnicas según la libertad de movimiento por el entorno virtual presentada (siendo 0 muy restringida y 5 nada restringida)					
Teletransporte	Arrastrado	En el sitio	Touchpad	Tirachinas	
5		3	4		
Clasifica las distintas técnicas según la levedad de las molestias sentidas durante su uso (siendo 0 muy graves y 5 imperceptibles)					
Teletransporte	Arrastrado	En el sitio	Touchpad	Tirachinas	
5		3	4		
Clasifica las distintas técnicas según tu preferencia de uso en una aplicación de RV (siendo 0 nada preferente y 5 muy preferente)					

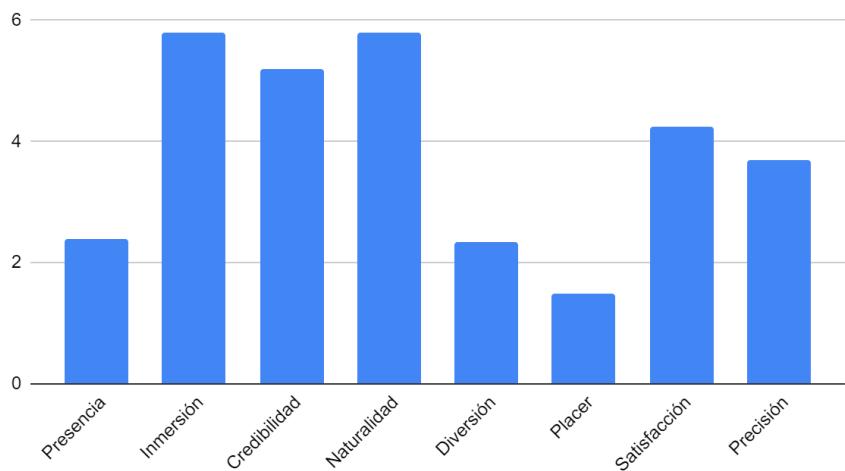
Teletransporte	Arrastrado	En el sitio	Touchpad	Tirachinas			
5		4	4				
TOTAL							
Teletransporte	Arrastrado	En el sitio	Touchpad	Tirachinas			
36	0	29	32	0			



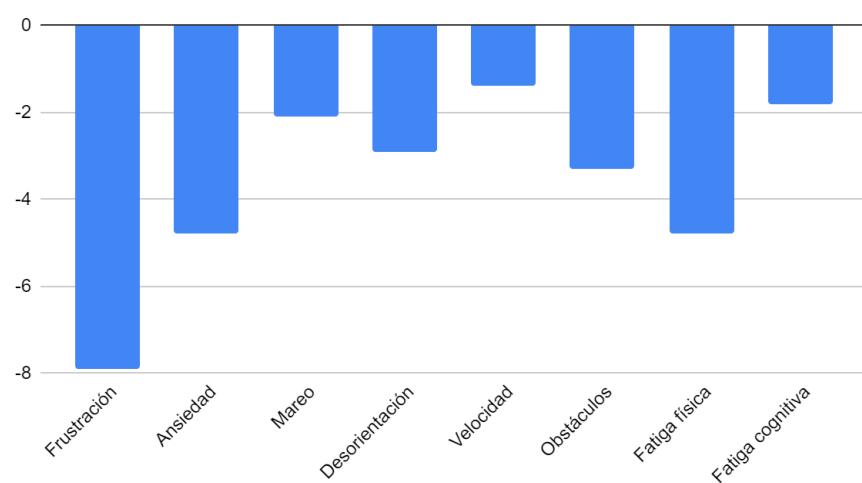
Prueba 5

Pregunta	Respuesta
El entorno virtual respondía a mis acciones de forma natural	5
Mi movimiento por el entorno virtual resultó natural	5
Podía examinar los objetos virtuales en detalle	5
Podía examinar los objetos virtuales desde distintos ángulos	5
La forma en que usé los gamepads me distrajo de las tareas que debía realizar	2
La sensación de mi movimiento por el entorno era convincente	5
Me sentía inmerso/a por completo en el entorno virtual	5
Me olvidé de las cosas que me rodeaban en el mundo real	5
Perdí la noción del tiempo mientras estaba en el entorno virtual	1
Sentí que podía explorar el entorno a mi antojo	5
Me resultó fácil usar los gamepads para moverme por el entorno virtual	5
La gymkhana me resultó emocionante	5
La gymkhana me resultó aburrida	1
La gymkhana me resultó desafiante	5
La gymkhana me resultó sencilla	3
Fui capaz de controlar mis acciones sin problema	4
Fui capaz de interactuar con el entorno virtual a la perfección	2
Estaba muy concentrado/a durante la gymkhana	5
Me preocupaba llevar a cabo las tareas correctamente	5
Me sentí feliz al completar una tarea con éxito	5
Me sentí mal al fallar una tarea	4
Sentí presión a la hora de realizar las tareas correctamente	1
Sentí presión a la hora de realizar las tareas en poco tiempo	2
Me sentí cómodo/a usando los gamepads	5
Me costaba prestar atención a los elementos del entorno virtual	1
En todo momento era consciente de mi posición en el entorno virtual	5
En todo momento era consciente de mi posición en el mundo real	2
En algún momento sentí vértigo	4
En algún momento sentí que me mareaba	1
En algún momento sentí molestias oculares	1
En algún momento sentí molestias en las manos o los brazos	1

Propiedades de la RV



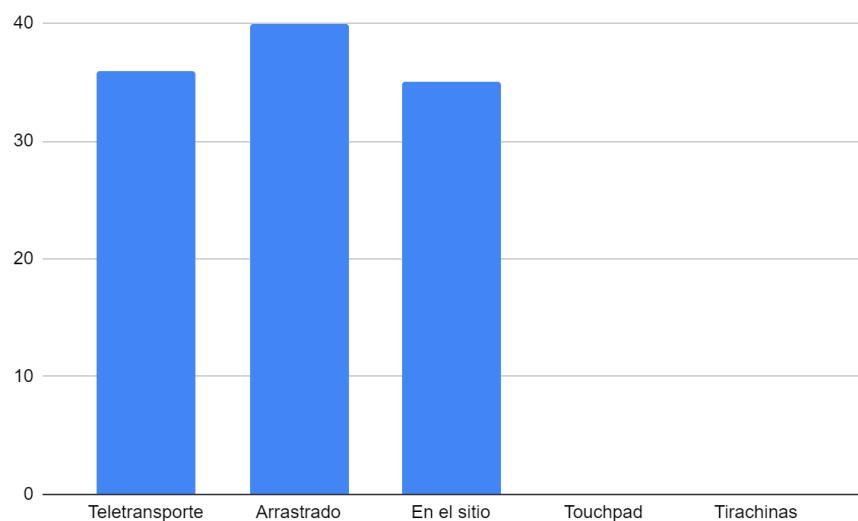
Problemas de la RV



TIEMPOS											Orientación
Prueba	Método	Tiempo (segundos)									Orientación
		Zona 0	Zona 1	Zona 2	Zona 3	Zona 4	Zona 5	Zona 6	Zona 7	Total	
Velocidad	Teletransporte	272	38,13	27	59,7	59,2	39,2	20,7	26,12	542,05	
Interacción	En el sitio	42,42	213,6	19,11	96,39	119,96	132,52	197,96	36,97	858,93	Fuera de rango
		Baliza 1	Baliza 2	Baliza 3							
Presencia	Arrastrado	150,45	287,43	223,39						661,27	

Clasifica las distintas técnicas según la facilidad de uso (siendo 0 muy difícil y 5 muy fácil)				
Teletransporte	Arrastrado	En el sitio	Touchpad	Tirachinas
5	5	5		
Clasifica las distintas técnicas según la facilidad de aprendizaje (siendo 0 muy difícil y 5 muy fácil)				
Teletransporte	Arrastrado	En el sitio	Touchpad	Tirachinas
4	5	5		
Clasifica las distintas técnicas según la comodidad presentada para navegar por el entorno virtual (siendo 0 nada cómodo y 5 muy cómodo)				
Teletransporte	Arrastrado	En el sitio	Touchpad	Tirachinas
4	5	3		
Clasifica las distintas técnicas según la similitud con la realidad (siendo 0 nada similar y 5 muy similar)				
Teletransporte	Arrastrado	En el sitio	Touchpad	Tirachinas
4	5	4		
Clasifica las distintas técnicas según la sensación de naturalidad presentada (siendo 0 nada natural y 5 muy natural)				
Teletransporte	Arrastrado	En el sitio	Touchpad	Tirachinas
5	5	5		
Clasifica las distintas técnicas según la libertad de movimiento por el entorno virtual presentada (siendo 0 muy restringida y 5 nada restringida)				
Teletransporte	Arrastrado	En el sitio	Touchpad	Tirachinas
5	5	5		
Clasifica las distintas técnicas según la levedad de las molestias sentidas durante su uso (siendo 0 muy graves y 5 imperceptibles)				
Teletransporte	Arrastrado	En el sitio	Touchpad	Tirachinas
5	5	5		
Clasifica las distintas técnicas según tu preferencia de uso en una aplicación de RV (siendo 0 nada preferente y 5 muy preferente)				
Teletransporte	Arrastrado	En el sitio	Touchpad	Tirachinas

orte							
	4	5	3				
TOTAL							
Teletransp orte	Arrastrado	En el sitio	Touchpad	Tirachinas			
36	40	35	0	0			

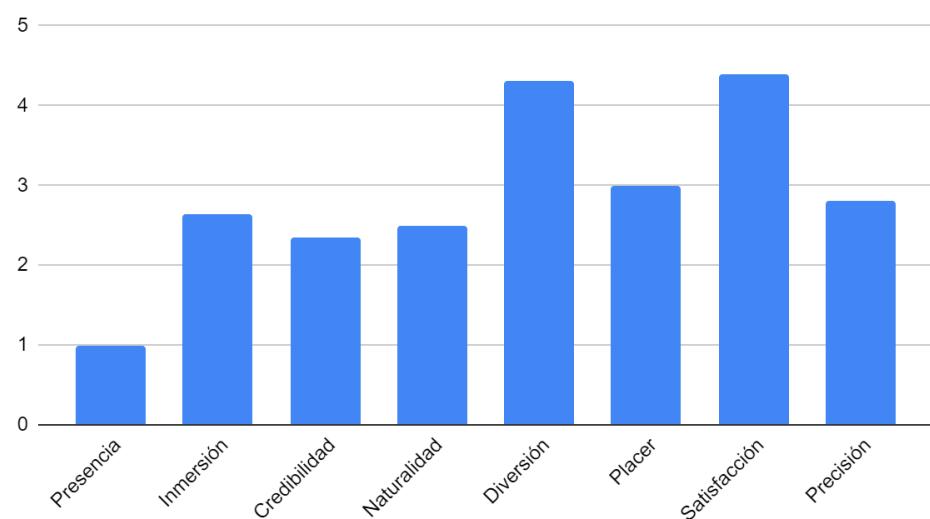


Prueba 6

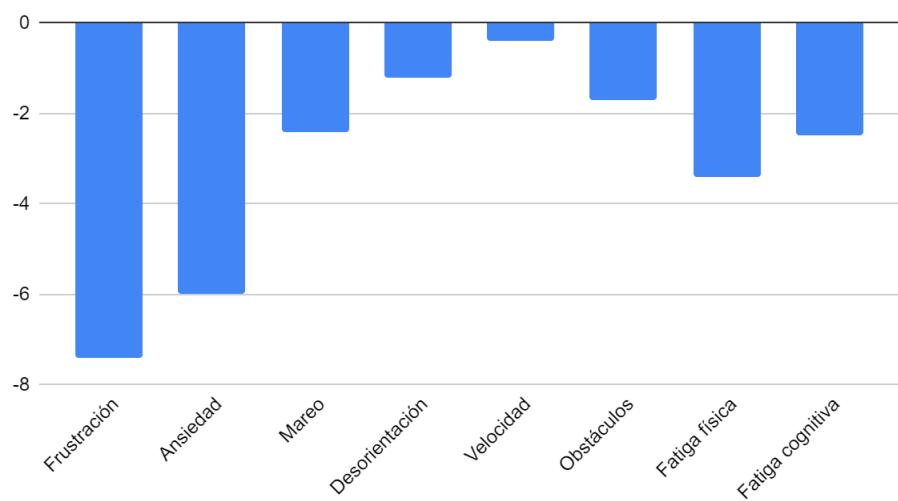
Pregunta	Respuesta
El entorno virtual respondía a mis acciones de forma natural	3
Mi movimiento por el entorno virtual resultó natural	3
Podía examinar los objetos virtuales en detalle	4
Podía examinar los objetos virtuales desde distintos ángulos	4
La forma en que usé los gamepads me distrajo de las tareas que debía realizar	1
La sensación de mi movimiento por el entorno era convincente	3
Me sentía inmerso/a por completo en el entorno virtual	4
Me olvidé de las cosas que me rodeaban en el mundo real	4
Perdí la noción del tiempo mientras estaba en el entorno virtual	2
Sentí que podía explorar el entorno a mi antojo	4
Me resultó fácil usar los gamepads para moverme por el entorno virtual	3
La gymkhana me resultó emocionante	3
La gymkhana me resultó aburrida	1
La gymkhana me resultó desafiante	3

La gymkhana me resultó sencilla	4
Fui capaz de controlar mis acciones sin problema	3
Fui capaz de interactuar con el entorno virtual a la perfección	3
Estaba muy concentrado/a durante la gymkhana	3
Me preocupaba llevar a cabo las tareas correctamente	3
Me sentí feliz al completar una tarea con éxito	4
Me sentí mal al fallar una tarea	1
Sentí presión a la hora de realizar las tareas correctamente	1
Sentí presión a la hora de realizar las tareas en poco tiempo	1
Me sentí cómodo/a usando los gamepads	4
Me costaba prestar atención a los elementos del entorno virtual	2
En todo momento era consciente de mi posición en el entorno virtual	3
En todo momento era consciente de mi posición en el mundo real	4
En algún momento sentí vértigo	1
En algún momento sentí que me mareaba	2
En algún momento sentí molestias oculares	2
En algún momento sentí molestias en las manos o los brazos	1

Propiedades de la RV



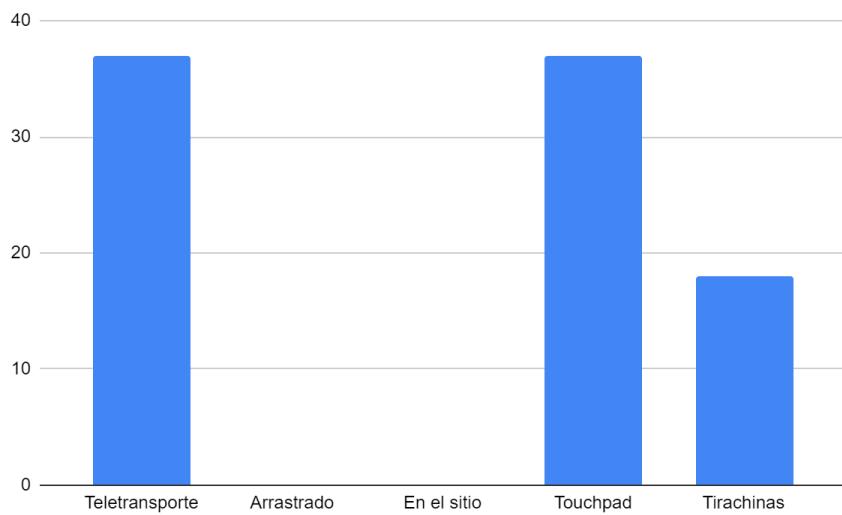
Problemas de la RV



TIEMPOS											Orientación	
Prueba	Método	Tiempo (segundos)										
		Zona 0	Zona 1	Zona 2	Zona 3	Zona 4	Zona 5	Zona 6	Zona 7	Total		
Velocidad	Tirachinas	127	20,64	12,82	59	84	74,3	13,2	22,3	413,26		
Interacción	Teletransporte	68	45,3	5,55	70,8	31,7	18,59	34,89	3,86	274,83	43	
		Baliza 1	Baliza 2	Baliza 3								
Presencia	Touchpad	39,6	45,46	58,3						143,36		

Clasifica las distintas técnicas según la facilidad de uso (siendo 0 muy difícil y 5 muy fácil)											
Teletransporte		Arrastrado		En el sitio		Touchpad		Tirachinas			
		5					4		3		
Clasifica las distintas técnicas según la facilidad de aprendizaje (siendo 0 muy difícil y 5 muy fácil)											
Teletransporte		Arrastrado		En el sitio		Touchpad		Tirachinas			
		5					4		3		
Clasifica las distintas técnicas según la comodidad presentada para navegar por el entorno virtual (siendo 0 nada cómodo y 5 muy cómodo)											
Teletransporte		Arrastrado		En el sitio		Touchpad		Tirachinas			

orte							
	5			4	1		
Clasifica las distintas técnicas según la similitud con la realidad (siendo 0 nada similar y 5 muy similar)							
Teletransp orte	Arrastrado	En el sitio	Touchpad	Tirachinas			
	4			5	3		
Clasifica las distintas técnicas según la sensación de naturalidad presentada (siendo 0 nada natural y 5 muy natural)							
Teletransp orte	Arrastrado	En el sitio	Touchpad	Tirachinas			
	5			5	2		
Clasifica las distintas técnicas según la libertad de movimiento por el entorno virtual presentada (siendo 0 muy restringida y 5 nada restringida)							
Teletransp orte	Arrastrado	En el sitio	Touchpad	Tirachinas			
	3			5	2		
Clasifica las distintas técnicas según la levedad de las molestias sentidas durante su uso (siendo 0 muy graves y 5 imperceptibles)							
Teletransp orte	Arrastrado	En el sitio	Touchpad	Tirachinas			
	5			5	3		
Clasifica las distintas técnicas según tu preferencia de uso en una aplicación de RV (siendo 0 nada preferente y 5 muy preferente)							
Teletransp orte	Arrastrado	En el sitio	Touchpad	Tirachinas			
	5			5	1		
TOTAL							
Teletransp orte	Arrastrado	En el sitio	Touchpad	Tirachinas			
37	0	0	37	18			

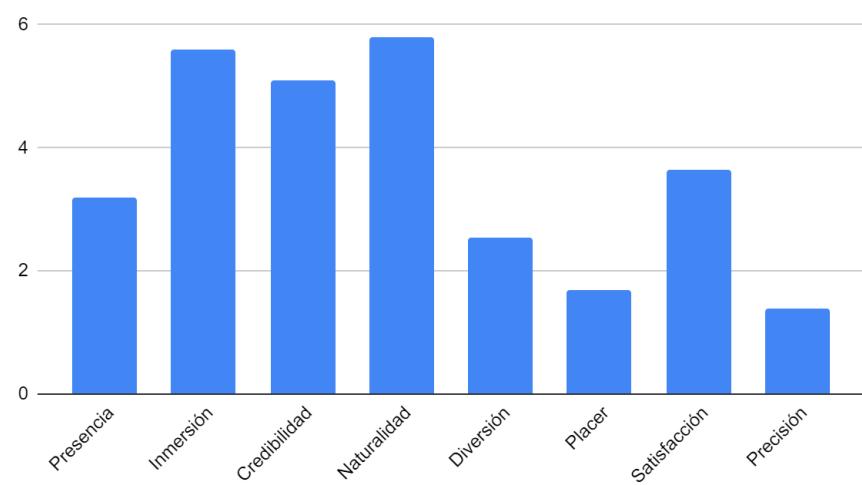


Prueba 7

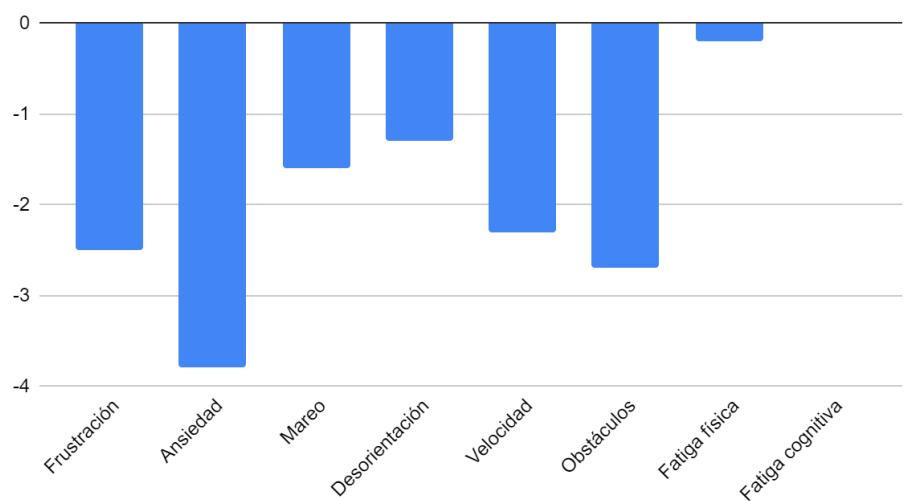
Pregunta	Respuesta
El entorno virtual respondía a mis acciones de forma natural	5
Mi movimiento por el entorno virtual resultó natural	5
Podía examinar los objetos virtuales en detalle	5
Podía examinar los objetos virtuales desde distintos ángulos	5
La forma en que usé los gamepads me distrajo de las tareas que debía realizar	1
La sensación de mi movimiento por el entorno era convincente	4
Me sentía inmerso/a por completo en el entorno virtual	5
Me olvidé de las cosas que me rodeaban en el mundo real	5
Perdí la noción del tiempo mientras estaba en el entorno virtual	5
Sentí que podía explorar el entorno a mi antojo	5
Me resultó fácil usar los gamepads para moverme por el entorno virtual	5
La gymkhana me resultó emocionante	4
La gymkhana me resultó aburrida	1
La gymkhana me resultó desafiante	4
La gymkhana me resultó sencilla	4
Fui capaz de controlar mis acciones sin problema	3
Fui capaz de interactuar con el entorno virtual a la perfección	3
Estaba muy concentrado/a durante la gymkhana	5
Me preocupaba llevar a cabo las tareas correctamente	5
Me sentí feliz al completar una tarea con éxito	5
Me sentí mal al fallar una tarea	5
Sentí presión a la hora de realizar las tareas correctamente	3
Sentí presión a la hora de realizar las tareas en poco tiempo	4

Me sentí cómodo/a usando los gamepads	5
Me costaba prestar atención a los elementos del entorno virtual	3
En todo momento era consciente de mi posición en el entorno virtual	5
En todo momento era consciente de mi posición en el mundo real	3
En algún momento sentí vértigo	1
En algún momento sentí que me mareaba	1
En algún momento sentí molestias oculares	5
En algún momento sentí molestias en las manos o los brazos	1

Propiedades de la RV



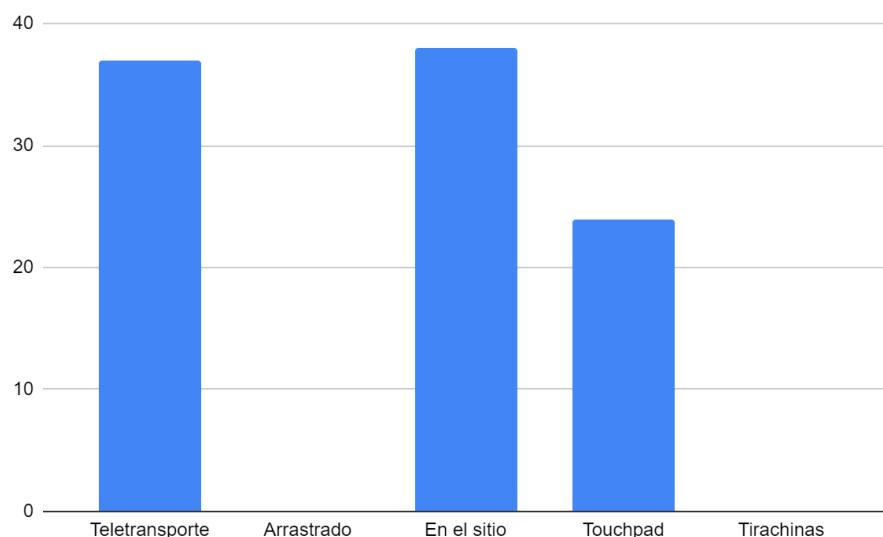
Problemas de la RV



TIEMPOS												Orientación	
Prueba	Método	Tiempo (segundos)											
		Zona 0	Zona 1	Zona 2	Zona 3	Zona 4	Zona 5	Zona 6	Zona 7	Total			
Velocidad	Teletransporte	370,5	7,16	4,3	36,05	16,26	13,16	3,2	11,95	462,58			
Interacción	En el sitio	65,4	39,9	38,7	70,4	44,72	20,7	38,35	20,7	338,87	40		
		Baliza 1	Baliza 2	Baliza 3									
Presencia	Touchpad	39,59	232,13	80,78							352,5		

Clasifica las distintas técnicas según la facilidad de uso (siendo 0 muy difícil y 5 muy fácil)												
Teletransporte	Arrastrado	En el sitio	Touchpad	Tirachinas								
	5		4	1								
Clasifica las distintas técnicas según la facilidad de aprendizaje (siendo 0 muy difícil y 5 muy fácil)												
Teletransporte	Arrastrado	En el sitio	Touchpad	Tirachinas								
	5		5	5								
Clasifica las distintas técnicas según la comodidad presentada para navegar por el entorno virtual (siendo 0 nada cómodo y 5 muy cómodo)												
Teletransporte	Arrastrado	En el sitio	Touchpad	Tirachinas								
	5		4	1								
Clasifica las distintas técnicas según la similitud con la realidad (siendo 0 nada similar y 5 muy similar)												
Teletransporte	Arrastrado	En el sitio	Touchpad	Tirachinas								
	4		5	5								
Clasifica las distintas técnicas según la sensación de naturalidad presentada (siendo 0 nada natural y 5 muy natural)												
Teletransporte	Arrastrado	En el sitio	Touchpad	Tirachinas								
	5		5	5								
Clasifica las distintas técnicas según la libertad de movimiento por el entorno virtual presentada (siendo 0 muy restringida y 5 nada restringida)												

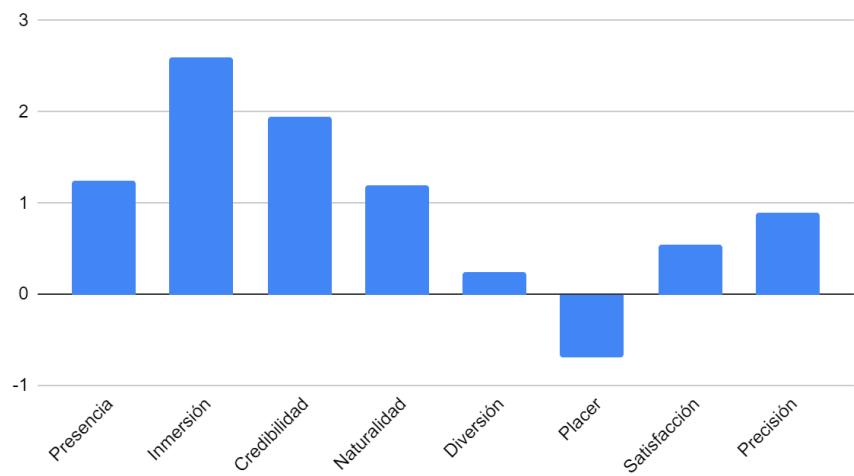
Teletransporte	Arrastrado	En el sitio	Touchpad	Tirachinas			
5		5	5				
Clasifica las distintas técnicas según la levedad de las molestias sentidas durante su uso (siendo 0 muy graves y 5 imperceptibles)							
Teletransporte	Arrastrado	En el sitio	Touchpad	Tirachinas			
5		5	1				
Clasifica las distintas técnicas según tu preferencia de uso en una aplicación de RV (siendo 0 nada preferente y 5 muy preferente)							
Teletransporte	Arrastrado	En el sitio	Touchpad	Tirachinas			
3		5	1				
TOTAL							
Teletransporte	Arrastrado	En el sitio	Touchpad	Tirachinas			
37	0	38	24	0			



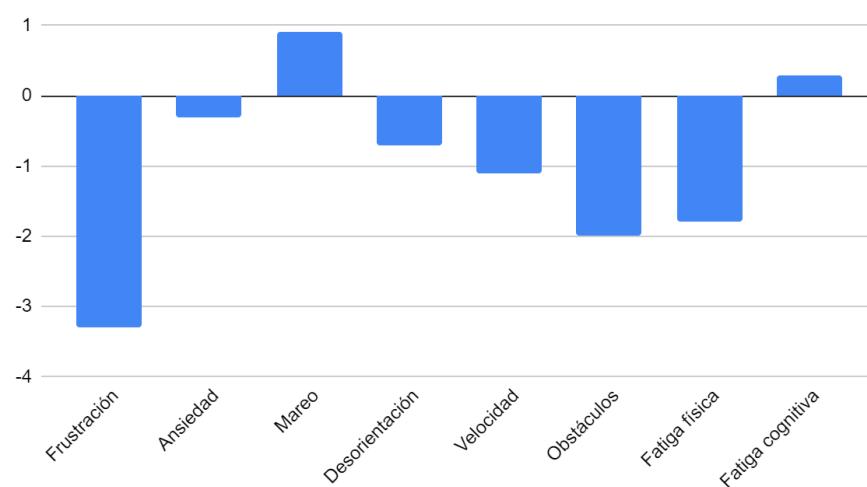
Prueba 8

Pregunta	Respuesta
El entorno virtual respondía a mis acciones de forma natural	4
Mi movimiento por el entorno virtual resultó natural	4
Podía examinar los objetos virtuales en detalle	5
Podía examinar los objetos virtuales desde distintos ángulos	5
La forma en que usé los gamepads me distrajo de las tareas que debía realizar	4
La sensación de mi movimiento por el entorno era convincente	4
Me sentía inmerso/a por completo en el entorno virtual	3
Me olvidé de las cosas que me rodeaban en el mundo real	4
Perdí la noción del tiempo mientras estaba en el entorno virtual	2
Sentí que podía explorar el entorno a mi antojo	3
Me resultó fácil usar los gamepads para moverme por el entorno virtual	4
La gymkhana me resultó emocionante	5
La gymkhana me resultó aburrida	2
La gymkhana me resultó desafiante	3
La gymkhana me resultó sencilla	3
Fui capaz de controlar mis acciones sin problema	3
Fui capaz de interactuar con el entorno virtual a la perfección	3
Estaba muy concentrado/a durante la gymkhana	4
Me preocupaba llevar a cabo las tareas correctamente	5
Me sentí feliz al completar una tarea con éxito	5
Me sentí mal al fallar una tarea	4
Sentí presión a la hora de realizar las tareas correctamente	3
Sentí presión a la hora de realizar las tareas en poco tiempo	4
Me sentí cómodo/a usando los gamepads	5
Me costaba prestar atención a los elementos del entorno virtual	2
En todo momento era consciente de mi posición en el entorno virtual	5
En todo momento era consciente de mi posición en el mundo real	1
En algún momento sentí vértigo	3
En algún momento sentí que me mareaba	5
En algún momento sentí molestias oculares	5
En algún momento sentí molestias en las manos o los brazos	1

Propiedades de la RV



Problemas de la RV

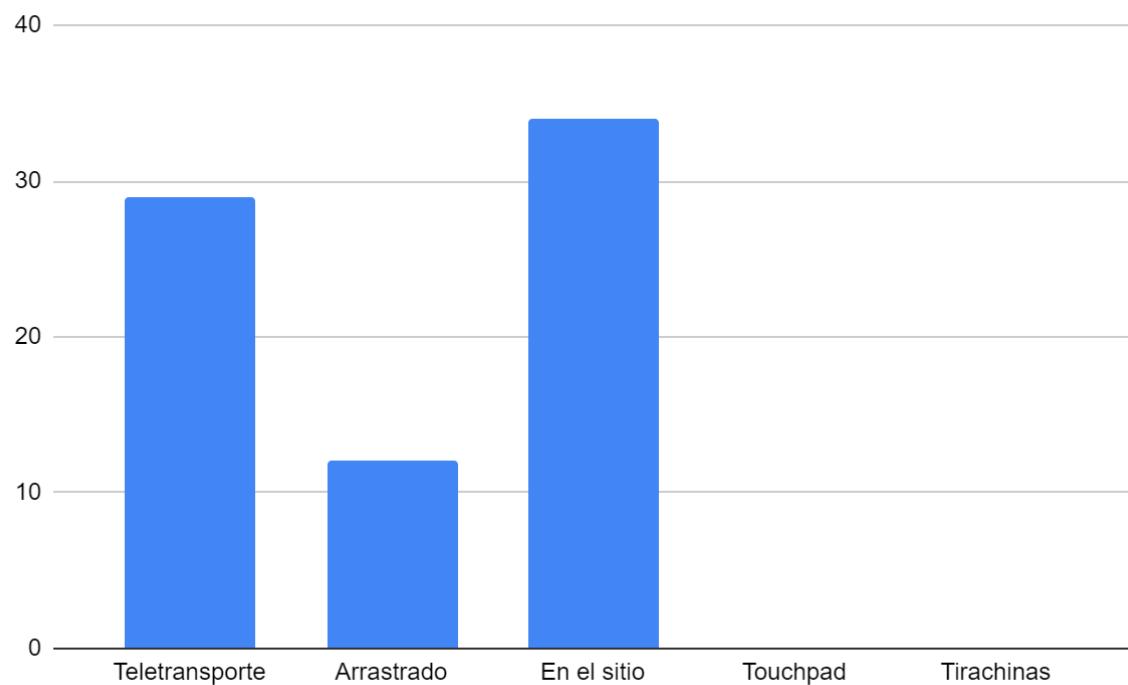


TIEMPOS												Orientación	
Prueba	Método	Tiempo (segundos)											
		Zona 0	Zona 1	Zona 2	Zona 3	Zona 4	Zona 5	Zona 6	Zona 7	Total			
Velocidad	Teletransporte	185	10,9	5,7	19,7	33,86	40,24	3,08	8,06	306,54			
Interacción	En el sitio	121	26,9	24,98	76,93	116,7	20	28,7	13,6	428,81	30		
		Baliza 1	Baliza 2	Baliza 3									
Presencia	Arrastrado	97,4	205,7	109,4						412,5			

Clasifica las distintas técnicas según la facilidad de uso (siendo 0 muy difícil y 5 muy fácil)

Teletransporte	Arrastrado	En el sitio	Touchpad	Tirachinas			
4	1	5					
Clasifica las distintas técnicas según la facilidad de aprendizaje (siendo 0 muy difícil y 5 muy fácil)							
Teletransporte	Arrastrado	En el sitio	Touchpad	Tirachinas			
5	2	4					
Clasifica las distintas técnicas según la comodidad presentada para navegar por el entorno virtual (siendo 0 nada cómodo y 5 muy cómodo)							
Teletransporte	Arrastrado	En el sitio	Touchpad	Tirachinas			
4	0	5					
Clasifica las distintas técnicas según la similitud con la realidad (siendo 0 nada similar y 5 muy similar)							
Teletransporte	Arrastrado	En el sitio	Touchpad	Tirachinas			
0	1	3					
Clasifica las distintas técnicas según la sensación de naturalidad presentada (siendo 0 nada natural y 5 muy natural)							
Teletransporte	Arrastrado	En el sitio	Touchpad	Tirachinas			
4	4	4					
Clasifica las distintas técnicas según la libertad de movimiento por el entorno virtual presentada (siendo 0 muy restringida y 5 nada restringida)							
Teletransporte	Arrastrado	En el sitio	Touchpad	Tirachinas			
5	3	4					
Clasifica las distintas técnicas según la levedad de las molestias sentidas durante su uso (siendo 0 muy graves y 5 imperceptibles)							
Teletransporte	Arrastrado	En el sitio	Touchpad	Tirachinas			
3	1	4					
Clasifica las distintas técnicas según tu preferencia de uso en una aplicación de RV (siendo 0 nada preferente y 5 muy preferente)							
Teletransporte	Arrastrado	En el sitio	Touchpad	Tirachinas			

	4	0	5				
TOTAL							
Teletransporte	Arrastrado	En el sitio	Touchpad	Tirachinas			
29	12	34	0	0			



Matrices de tiempos

	Teletransporte	Arrastrado	En el sitio	Touchpad	Tirachinas
Velocidad	306,54				
Interacción			428,81		
Presencia		412,5			
	Teletransporte	Arrastrado	En el sitio	Touchpad	Tirachinas
Velocidad	462,58				
Interacción			338,87		
Presencia				352,5	
	Teletransporte	Arrastrado	En el sitio	Touchpad	Tirachinas
Velocidad					413,26
Interacción	274,83				
Presencia				143,36	
	Teletransporte	Arrastrado	En el sitio	Touchpad	Tirachinas
Velocidad	542,05				
Interacción			858,93		
Presencia		661,27			
	Teletransporte	Arrastrado	En el sitio	Touchpad	Tirachinas
Velocidad			735,3		
Interacción				755,72	
Presencia	550,73				
	Teletransporte	Arrastrado	En el sitio	Touchpad	Tirachinas
Velocidad			671,39		
Interacción		563,29			
Presencia	278				
	Teletransporte	Arrastrado	En el sitio	Touchpad	Tirachinas
Velocidad					554,39
Interacción	404,73				
Presencia		518,76			
	Teletransporte	Arrastrado	En el sitio	Touchpad	Tirachinas
Velocidad					340,31
Interacción				253,47	
Presencia			189,54		

Ubicación del proyecto y manual de usuario

El proyecto se encuentra en el siguiente repositorio:

<https://bitbucket.org/adritake/tfm/src/master/>

Para hacer uso del proyecto es necesario clonar o descargar el repositorio anterior. Es un proyecto de Unity por lo tanto es necesario descargar Unity de la página oficial (<https://unity.com/es>) preferiblemente la versión 2018.3.5f1 ya que es la usada para desarrollar la gymkhana. Además es necesario tener instalado Steam con SteamVR (<https://store.steampowered.com/?l=spanish>). Por último para poder probar el proyecto es necesario un kit de realidad virtual, da igual el modelo siempre que sea compatible con SteamVR. Hay que instalar el kit según las instrucciones del fabricante.

Para ejecutar el proyecto hay que lanzar el repositorio descargado con Unity, se iniciará automáticamente SteamVR y hay que seleccionar ejecutar juego en Unity.