

Trabajo Fin de Grado
Grado en Ingeniería de las Tecnologías de
Telecomunicación

Estudio del uso de la herramienta Virtual Reality
Scientific Toolkit para experimentos en entornos de
Realidad Virtual

Autor: Jaime Villar Rasero

Tutoras: Irene Fondón García y María del Mar Elena Pérez

Dpto. Teoría de la Señal y Comunicaciones
Escuela Técnica Superior de Ingeniería
Universidad de Sevilla

Sevilla, 2024



Trabajo Fin de Grado
Grado en Ingeniería de las Tecnologías de
Telecomunicación

Estudio del uso de la herramienta *Virtual Reality Scientific Toolkit* para experimentos en entornos de Realidad Virtual

Autor:

Jaime Villar Rasero

Tutoras:

Irene Fondón García

Profesora titular

María del Mar Elena Pérez

Profesora Contratada Doctor

Dpto. de Teoría de la Señal y Comunicaciones

Escuela Técnica Superior de Ingeniería

Universidad de Sevilla

Sevilla, 2024

Proyecto Fin de Carrera: Estudio del uso de la herramienta Virtual Reality Scientific Toolkit para experimentos en entornos de Realidad Virtual

Autor: Jaime Villar Rasero

Tutoras: Irene Fondón García y María del Mar Elena Pérez

El tribunal nombrado para juzgar el Proyecto arriba indicado, compuesto por los siguientes miembros:

Presidente:

Vocales:

Secretario:

Acuerdan otorgarle la calificación de:

Fecha:

El Secretario del Tribunal

A mis padres

A mis abuelos

Agradecimientos

No tengo palabras para expresar lo que ha sido para mí esta preciosa etapa. Entré con ilusión y salgo con más motivación que nunca. No hubiera sido posible sin las amistades que he ido conociendo a lo largo de estos años, desde la primera hasta la última. Personas que me han ayudado siempre, tanto en los momentos buenos como en los malos.

Me gustaría agradecer a mis padres, José Manuel y Carmen, por todo lo que hacen por mí, siempre me han apoyado en todo, sin dudar, dándome todo tipo de consejos. También agradecer a mi hermano Gonzalo, por siempre estar conmigo, preocuparse por mí y apoyarme en cada paso del camino.

Por otro lado, no me puedo olvidar de Ángela, por apoyarme en los momentos duros, mostrándome siempre cariño.

Quiero dar las gracias a mis tutoras Irene y María del Mar por su tiempo dedicado en este proyecto. En especial a Irene, por las ganas de enseñar e ilusión que me ha transmitido, siendo un ejemplo para mí como profesora y tutora de este proyecto. Siempre me ha brindado su apoyo y su tiempo, guiándome desde el primer momento.

También a todos mis profesores que he conocido durante la carrera. Particularmente, a los profesores del departamento de teoría de la señal, que siempre me han ayudado en todo lo que han podido.

Jaime Villar Rasero

Sevilla, 2024

Resumen

Este proyecto de fin de grado busca encontrar la validez de la herramienta OpenSource VRSTK (Virtual Reality Scientific Toolkit) creada por el laboratorio alemán iXperience, para experimentos en entornos de realidad virtual. Debido a que no existen muchas herramientas gratuitas que permitan a los investigadores realizar experimentos de alto nivel en entornos de realidad virtual, VRSTK facilita el diseño y la realización de estudios de usuarios en entornos de realidad virtual inmersivos dentro de la plataforma de desarrollo en tiempo real Unity. Sus características incluyen la grabación y revisión de escenas, la recopilación y evaluación de datos específicos del usuario a partir de sensores y de cuestionarios en realidad virtual.

En este proyecto, describimos las características principales del VRSTK, analizando en profundidad su funcionalidad con cuestionarios en experimentos virtuales.

Abstract

This final degree project aims to determine the validity of the OpenSource VRSTK (Virtual Reality Scientific Toolkit) tool created by the German iXperience laboratory, for experiments in virtual reality environments. This is due to the scarcity of free tools available to researchers for conducting high-level experiments in Virtual Reality environments, VRSTK facilitates the design and implementation of user studies in immersive Virtual Reality environments within the Unity real-time development platform. Its features include scene recording and review, as well as the collection and evaluation of user-specific data from sensors and virtual reality questionnaires.

In this project, we describe the main features of the VRSTK and analyze in-depth its functionality with questionnaires in virtual experiments.

Índice

Agradecimientos	ix
Resumen	xi
Abstract	xiii
Índice	xiv
Índice de Tablas	xvi
Índice de Figuras	xviii
Notación	xxi
1 Objetivos	1
2 Realidad Virtual	3
2.1. <i>Fundamentos de la realidad virtual</i>	3
2.2 <i>Hardware actual</i>	5
2.2.1 <i>Meta Quest 2</i>	7
2.3 <i>Experimento virtual</i>	8
2.3.1 <i>Cuestionarios</i>	9
3 UNITY	13
3.1 <i>Historia</i>	13
3.2 <i>Unity: Versiones y uso</i>	13
3.3 <i>Iniciación a Unity</i>	14
3.4 <i>Unity Editor</i>	18
3.4.1 <i>Barra de menú</i>	19
3.4.2 <i>Principales ventanas en el editor</i>	19
3.5 <i>Conclusión</i>	21
4 Toolkits	11
4.1 <i>Necesidad de un toolkit</i>	11
4.2 <i>Toolkits existentes</i>	12

4.3	<i>Características de selección de un toolkit</i>	13
4.3.1	Setup	13
4.3.2	Detección de participantes	13
4.3.3	Representación virtual	14
4.3.4	Manejo de los datos	14
4.4	<i>Conclusiones</i>	14
5	VRSTK	16
5.1	<i>Introducción de VRSTK</i>	16
5.2	<i>Versiones de GitHub</i>	17
5.3	<i>Guía rápida para el uso de la versión Release</i>	18
5.4	<i>VRSTK-1.0.0</i>	21
5.4.1	Estudio de VRSTK-1.0.0	21
5.4.2	Inicio y depuración de errores	24
5.5	<i>Conclusiones de elección de escena</i>	24
6	Resultados	26
6.1	<i>QuestionnairesTracking</i>	26
6.2	<i>VRQuestionnaireToolkit</i>	28
6.2.1	Cuestionarios NASA TLX, SSQ y el cuestionario de Presencia SUS	29
6.3	<i>Exportación de datos</i>	32
6.3.1	Ejemplo real de exportación de datos	32
6.4	<i>Posibles casos de uso</i>	36
7	Conclusiones y líneas futuras	37
7.1	<i>Conclusión y líneas futuras</i>	37
7.2	<i>Reparto de tareas</i>	38
	Referencias	40

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2-1: Comparativa de dispositivos virtuales.	8
Tabla 4-1: Comparativa de toolkits	15
Tabla 6-1: Excel de resultados	34

ÍNDICE DE FIGURAS

Ilustración 2-1: Set Meta Quest 2	7
Ilustración 2-2: Ejemplo de cuestionario virtual [27].	10
Ilustración 2-3: Representación del uso de un cuestionario dentro de un entorno virtual[28].	10
Ilustración 3-1: Unity Hub	14
Ilustración 3-2: Creación de un proyecto en Unity	15
Ilustración 3-3: Versiones instaladas	16
Ilustración 3-4: Tutoriales de Unity	16
Ilustración 3-5: Comunidad Unity	17
Ilustración 3-6: Entorno Unity	18
Ilustración 3-7: Barra del menú	19
Ilustración 3-8: Entorno seleccionado	20
Ilustración 5-1: Versiones VRSTK GitHub [1]	18
Ilustración 5-2: Project Settings	19
Ilustración 5-3: Project Settings OpenXR	19
Ilustración 5-4: Directorios dentro de VRSTK	20
Ilustración 5-5: Escenas VRSTK-1.0.0	21
Ilustración 5-6: Decoración de la escena AutomaticDataAnalysis	22
Ilustración 5-7: Mapa de calor [1]	23
Ilustración 5-8: Errores encontrados	24
Ilustración 6-1: Escena QuestionnaireTracking	26
Ilustración 6-2: HandController	27

Ilustración 6-3: Página inicio Cuestionario 1	27
Ilustración 6-4: VRQuestionnaireToolkit	28
Ilustración 6-5: NASA-TLX Cuestionario 1 Page 6	30
Ilustración 6-6: NASA-TLX Cuestionario 1 Page 7	30
Ilustración 6-7: Cuestionario tipo Radio	34
Ilustración 6-8: Cuestionario tipo Radio	34
Ilustración 6-9: Cuestionario tipo Slider	34
Ilustración 6-10: Cuestionario tipo CheckBox	35
Ilustración 6-11: Cuestionario tipo Dropdown	35
Ilustración 6-12: Cuestionario tipo LinearRadio	35
Ilustración 7-1: Diagrama de reparto de tareas	38

Notación

Toolkit	Conjunto de herramientas
VRSTK	Virtual Reality Scientific Toolkit
PC	Ordenador Personal
XR	Realidad Extendida

1 OBJETIVOS

La vida es como montar en bicicleta. Para mantener el equilibrio debes seguir moviéndote.

Albert Einstein, 1930

Este estudio tiene como objetivo principal evaluar la eficacia de la herramienta de código abierto VRSTK[1] (Virtual Reality Scientific Toolkit), publicada por el laboratorio de investigación alemán iXperience Lab[2], para la realización de experimentos en entornos de realidad virtual.

Dada la escasez de herramientas gratuitas que permiten a los investigadores llevar a cabo experimentos avanzados en entornos virtuales, se busca determinar si el VRSTK puede ser una solución viable y efectiva para este propósito.

Los objetivos específicos son los siguientes:

- Poner en contexto el marco histórico y actual de los experimentos virtuales.
- Evaluar la funcionalidad de uso del VRSTK para diseñar y conducir estudios de usuarios en entornos de realidad virtual. Esto incluye analizar las características principales de la herramienta.
- Investigar la capacidad del VRSTK para adaptarse a diferentes tipos de experimentos de investigación en entornos virtuales.
- Identificar las ventajas y limitaciones del VRSTK en comparación con otras herramientas disponibles para la realización de experimentos virtuales.
- Elaborar una guía comprensible para utilizar el VRSTK. Diseñada para proporcionar instrucciones detalladas sobre cómo instalar, configurar y depurar los posibles errores del VRSTK. El objetivo es facilitar su uso por parte de investigadores y desarrolladores interesados en realizar experimentos con esta herramienta.
- Explorar el uso de cuestionarios dentro del entorno del VRSTK. Se investigará cómo implementar los cuestionarios dentro del entorno de realidad virtual del VRSTK. Se analizará la efectividad de estos cuestionarios para recopilar datos y evaluar la experiencia del usuario en estudios de investigación.
- Ofrecer sugerencias para optimizar el uso de la herramienta, así como posibles áreas de mejora o desarrollo futuro.

2 REALIDAD VIRTUAL

VR is a way to escape the real world into something more fantastic. It has the potential to be the most social technology of all time.

Palmer Luckey

En este capítulo nos centraremos de manera detallada en la realidad virtual y en sus fundamentos teóricos, intentando abordar aspectos esenciales como la inmersión y la interactividad. Además, examinaremos el estado actual de la realidad virtual y su aplicación en diversas disciplinas. Sobre todo, se hará hincapié en la manera de llevar a cabo experimentos virtuales, destacando estudios y proyectos relevantes.

2.1. Fundamentos de la realidad virtual

Para detallar en profundidad los fundamentos debemos dar ciertos matices de su contexto histórico. Cuando hablamos de los inicios de la realidad virtual nos referimos a las primeras interacciones entre humano y máquina. Las raíces de lo que hoy conocemos son consecuencia de los primeros experimentos con realidad aumentada y simulaciones mecánicas.

El origen de la realidad virtual se puede rastrear hasta la década de 1950, con el desarrollo del Sensorama, creado por el cineasta Morton Heilig. Este dispositivo, que se asemejaba a un gabinete de teatro estilo arcade, incorporaba tecnología que permitía a los usuarios experimentar películas estereoscópicas con movimiento del asiento, vibración, sonido estéreo, viento y aromas, todos activados durante la reproducción de las películas[3]. El objetivo era sumergir por completo a la persona en la experiencia cinematográfica, lo que llevó a explorar la idea de estimular múltiples sentidos para crear una experiencia más inmersiva.

Durante la misma década, Ivan Edward Sutherland fue una figura destacada en el avance de la computación gráfica. Con su tesis pionera de 1963, "Sketchpad: un sistema de comunicación gráfica hombre-máquina", demostró la posibilidad de crear gráficos interactivos mediante el uso de computadoras diseñadas específicamente con ese propósito. Este trabajo sentó las bases para el posterior desarrollo de tecnologías que transformarían la manera en que interactuamos con la información visual[4].

Posteriormente, en 1968, Sutherland publicó otra tesis titulada "A head-mounted three-dimensional display". Esta investigación representó un hito crucial al establecer los fundamentos para el desarrollo de los cascos de realidad virtual que son tan populares en la actualidad. La visión innovadora de Sutherland abrió el camino para la creación de dispositivos que nos envuelven completamente en entornos digitales tridimensionales, revolucionando así la experiencia humana con la tecnología[4].

La década de 1980 fue crucial para el nacimiento de los primeros dispositivos de realidad virtual, como los guantes de datos y las gafas de visualización. Sin embargo, en ese momento, el término "realidad virtual" aún

no se había acuñado. Fue entonces cuando Jaron Lanier introdujo por primera vez este término, y desde entonces, su trabajo ha impulsado muchas de las innovaciones y avances significativos en este campo. Durante los años 90, la realidad virtual comenzó a ganar popularidad en diversas industrias, desde la militar[5], la médica y la del entretenimiento. Esto muestra cómo Lanier desempeñó un papel fundamental en la evolución y la difusión de la realidad virtual, que ha seguido progresando a lo largo del tiempo.

También cabe destacar que, en 1994, Silicon Graphics presentó VRML 1.0, una revolución en el desarrollo de la realidad virtual en la web. Este lenguaje, diseñado específicamente para aplicaciones de realidad virtual en Internet, abrió las puertas a la creación de mundos virtuales tridimensionales accesibles a través de un navegador web. Una de las características más destacadas de VRML 1.0 fue su capacidad de extensión, lo que permitía a los desarrolladores agregar nuevas funcionalidades y mejorar el rendimiento del lenguaje con relativa facilidad[6].

Además, VRML 1.0 fue pionero en su independencia de la plataforma, lo que significa que las aplicaciones desarrolladas en este lenguaje podían ejecutarse en una amplia variedad de sistemas sin requerir modificaciones significativas. Esta característica facilitó la difusión de experiencias de realidad virtual a través de Internet, ya que los usuarios podían acceder a estos mundos virtuales desde diferentes dispositivos y sistemas operativos[6].

Sin embargo, a medida que la tecnología y las expectativas de los usuarios evolucionaron, surgió la necesidad de una mayor interactividad en los mundos virtuales. Los usuarios ya no estaban satisfechos con entornos estáticos, por lo que se empezó a buscar de manera más dinámica una mayor capacidad de interactuar con los objetos del entorno virtual.

En respuesta a esta demanda, Silicon Graphics lanzó VRML 2.0 en 1996. Esta versión ampliada del lenguaje permitía una mayor interacción con los mundos virtuales. Una de las características más importantes de VRML 2.0 fue la capacidad de asociar scripts a objetos, lo que permitía definir su comportamiento y acciones en respuesta a la interacción del usuario. Esto abrió la puerta a una gama mucho más amplia de experiencias interactivas en el mundo virtual[7].

Hoy en día, la realidad virtual ha experimentado una gran evolución, impulsada por avances significativos en varios frentes. En primer lugar, la potencia computacional ha aumentado de manera exponencial, lo que ha permitido un procesamiento más rápido y fluido de gráficos complejos y entornos virtuales inmersivos. La capacidad de los ordenadores para manejar grandes cantidades de datos en tiempo real ha contribuido enormemente a mejorar la calidad y la interactividad de las experiencias de realidad virtual[8]. Además, la miniaturización de dispositivos ha desempeñado un papel crucial en la accesibilidad y comodidad de la realidad virtual, abriendo un amplio umbral de aplicaciones de estos dispositivos, como por ejemplo en el campo de Internet de las Cosas[9]. Los visores de realidad virtual se han vuelto más compactos, ligeros y ergonómicos, lo que facilita su uso prolongado y su transporte. Esta miniaturización también ha permitido el desarrollo de dispositivos portátiles, como las gafas de realidad virtual autónomas, que no requieren estar conectadas a un ordenador, proporcionando una experiencia de inmersión completa con total libertad de movimiento, dando lugar a múltiples opciones de uso en campos como la medicina y la educación entre otros[10].

Otro avance importante ha sido el desarrollo de tecnologías específicas para la realidad virtual, como los sistemas de seguimiento de movimiento preciso, los controladores táctiles y los sistemas de audio espacial. Estas tecnologías mejoran la sensación de presencia y realismo en los entornos virtuales, permitiendo a los usuarios interactuar de manera más natural con el mundo digital que los rodea. Estos avances tienen múltiples posibilidades de uso como por ejemplo en la rehabilitación motora de los miembros superiores en patología neurológica[11].

Con este telón de histórico se puede definir la realidad virtual, aunque a lo largo de los últimos años han ido apareciendo múltiples definiciones según avanza la tecnología. Por ejemplo, Fuchs y Bishop en 1992 definieron la realidad virtual como "Gráficos interactivos en tiempo real con modelos 3D, combinados con una tecnología de visualización que le da al usuario la inmersión en el mundo del modelo y la manipulación directa"[12]. Otra definición de la realidad virtual bastante importante es la de Michael Gigante en 1993 que describió la realidad virtual como "La ilusión de participación en un entorno sintético en vez de la observación externa de dicho entorno. La realidad virtual se basa en pantallas de rastreo de cabeza estereoscópicas 3D, seguimiento de manos/cuerpo y sonido binaural. La VR es una experiencia inmersiva y multisensorial" [13].

También es significativo usar la definición de Carolina Cruz-Neira "La realidad virtual se refiere a entornos generados por computadora 3D inmersivos, interactivos, multisensoriales, centrados en el espectador y la combinación de tecnologías necesarias para construir dichos entornos"[14].

En estas tres definiciones destacan tres características comunes de la realidad virtual: inmersión, percepción de estar presente en un entorno e interacción con ese entorno. Con estas características se puede definir la realidad virtual como una simulación tridimensional que ofrece información sensorial, con el fin de hacer que el participante sienta que está presente en un lugar específico. Este lugar puede ser completamente imaginario o estar basado en un entorno real. La experiencia de estar en este "lugar" se logra a través de la inmersión y la interacción con el entorno virtual.

Cabe destacar que la inmersión es la sensación de estar completamente sumergido en un entorno simulado, de manera que el participante de la experiencia virtual siente que está presente en ese entorno virtual en lugar del mundo real que lo rodea. La inmersión se logra mediante la estimulación de múltiples sentidos.

2.2 Hardware actual

El hardware actual de la realidad virtual ha avanzado significativamente en los últimos años, proporcionando más facilidades y mejoras de calidad para diversas aplicaciones. A continuación, se describen los componentes clave más recientes en el hardware.

1. Cascos de Realidad Virtual (HMD)

El casco de realidad virtual, o Head-Mounted Display (HMD), es el componente central, que nos permite visualizar el entorno virtual. Estos dispositivos modernos han evolucionado para ofrecer resoluciones más altas y campos de visión más amplios[15].

Entre los múltiples dispositivos de distintas marcas, destacan:

- **Meta Quest 2**[16]. Es un casco de realidad virtual equipado con un chip Qualcomm Snapdragon XR2 con 6 GB de RAM y una unidad de procesamiento gráfico Adreno 650.
- **HTC Vive Focus 3**. Es un casco de realidad virtual independiente, lanzado en agosto de 2021. Está equipado con un sistema en chip Qualcomm Snapdragon XR2 y funciona con un sistema operativo Android. La pantalla del casco tiene una resolución de 2448×2448 por lente con un campo de visión de 120 grados y está equipada con 8 GB de RAM y 128 GB de almacenamiento. El seguimiento se realiza con el sistema de seguimiento inside-out de HTC VIVE[17].
- **HTC Vive Pro 2**[18]. Es un casco de realidad virtual que entre sus características destaca su resolución de 2448×2448 por lente, un campo de visión de hasta 120 grados y un peso de 855 gramos. El seguimiento se realiza con SteamVR 2.0 basado en sus sensores giroscopio, de proximidad, y sensores G [17].
- **PlayStation VR2**. Es un casco de realidad virtual desarrollado por Sony Interactive Entertainment para. El dispositivo fue presentado por primera vez en el CES 2022. PlayStation VR 2 necesita estar conectado a través de una conexión por cable USB Tipo-C a la PlayStation 5. El casco pesa menos de 600 g. El PlayStation VR 2 tiene una resolución de panel de 2000×2040 por lente con un campo de visión de aproximadamente 110 grados. Se utilizan cuatro cámaras para el seguimiento del casco y el controlador, y cámaras infrarrojas se utilizan para el seguimiento ocular. El casco puede proporcionar efectos táctiles de vibración y está equipado con un micrófono incorporado[17].

Cabe destacar que existen muchas más marcas de cascos de realidad virtual, pero se han elegido estos dispositivos debido a que son los más usados por los investigadores en sus experimentos virtuales, ya que tienen una alta resolución y ofrecen tasas de refresco que alcanzan los 120 Hz para así reducir la latencia y evitar mareos a la hora de usar los cascos[18].

2. Controladores de Movimiento

Los controladores de movimiento permiten a los usuarios interactuar con el entorno virtual de manera intuitiva. Equipados con sensores de seguimiento de alta precisión, estos dispositivos capturan el movimiento de las manos y los dedos en tiempo real[15].

3. Sistemas de Seguimiento

El seguimiento preciso del movimiento es esencial para una experiencia de realidad virtual inmersiva. Existen diferentes tecnologías de seguimiento, incluyendo:

- **Seguimiento Externo** (Outside-In). Utiliza sensores externos colocados en el entorno para rastrear la posición del casco y de los mandos de control. Un ejemplo es el HTC Vive[15].
- **Seguimiento Interno** (Inside-Out). Utiliza cámaras integradas en el casco para rastrear el entorno y los mandos de control. Meta Quest 2 y Microsoft HoloLens emplean este enfoque, eliminando la necesidad de sensores externos y facilitando la configuración[15].

4. Computación y Procesamiento

Es esencial tener un ordenador que pueda procesar todos los gráficos de alta calidad y toda la potencia de entorno virtual, por tanto, el hardware depende en gran medida del ordenador que procese los gráficos, normalmente se suele utilizar ordenadores con tarjetas gráficas de última generación, como la serie NVIDIA RTX 30 o las AMD Radeon RX 6000.

Aunque en la actualidad la mayoría de los cascos son autónomos por ejemplo el Meta Quest 2 no depende del ordenador como hemos dicho antes, es un dispositivo autónomo que incorpora hardware de procesamiento propio, basado en chips móviles avanzados como el Qualcomm Snapdragon XR2, ofreciendo una experiencia independiente sin necesidad de un ordenador o consola externa.

5. Accesorios y Complementos

Para enriquecer la experiencia en realidad virtual, se han desarrollado diversos accesorios adicionales, como por ejemplo:

- **Plataformas de Movimiento**. Como la Virtuix Omni, permiten al usuario caminar, correr y moverse físicamente en todas direcciones dentro del entorno virtual[19].
- **Sensores Corporales**. Los trajes de seguimiento completo, como el Tesla Suit[20], capturan el movimiento de todo el cuerpo y pueden proporcionar retroalimentación táctil en múltiples puntos.

Algunos de los sensores corporales más usados para la obtención de datos biométricos son los siguientes:

- **Eye-tracking** (EYE). Este sensor mide los movimientos oculares, proporcionando información precisa sobre la dirección de la mirada y permitiendo el estudio detallado de la atención visual[21].
- **Electroencefalografía** (EEG). Ofrece la capacidad de medir la actividad eléctrica cerebral, brindando así percepciones tanto de actividades neurales conscientes como inconscientes en la corteza cerebral humana[21].
- **Actividad eléctrica de la piel** (EDA). Al medir la conductancia eléctrica de la piel, este sensor se convierte en una herramienta valiosa para inferir estados emocionales y procesos cognitivos[21].
- **Electromiografía** (EMG). Al registrar la actividad eléctrica de los músculos, se facilita el seguimiento preciso del movimiento y los patrones de actividad muscular[21].
- **Electrocardiografía** (ECG). Proporciona información crucial sobre la actividad eléctrica del corazón, incluyendo la frecuencia cardíaca y el ritmo, lo que indica niveles de excitación fisiológica y estrés[21].

2.2.1 Meta Quest 2

Habiendo introducido los componentes esenciales del hardware, es importante destacar que en este proyecto nos centraremos en los Meta Quest 2, que son los cascos de realidad virtual que se han usado para la realización del experimento.

Para comprender los Meta Quest 2, es importante contextualizarlos dentro del panorama de la realidad virtual. Todo comienza cuando Palmer Luckey en 2012 fundó Oculus VR, una empresa emergente cuyo objetivo era poder desarrollar y financiar un casco de realidad virtual asequible. El éxito de Oculus atrajo la atención de Facebook que acabó comprando la compañía, lo que marcó un avance y un desarrollo importante de la realidad virtual.

En 2016 se lanzó el Rift CV1 el primer casco para consumidores, le siguieron los Oculus Go en 2018, y los Oculus Quest en 2019, estos últimos ofrecen una experiencia independiente sin necesidad de un ordenador. Los Oculus Quest, posteriormente llamados Meta Quest 2.

La repercusión de Meta Quest 2 fue tan grande que consiguió ser el casco de realidad virtual más popular de Meta en 2022, según informó Steam (plataforma de distribución digital de videojuegos), en su encuesta de hardware y software de octubre de 2022. La encuesta informó que el Oculus Quest 2 (también conocido como Meta Quest 2), representó el 41.49% de todos los modelos de cascos de realidad virtual utilizados para jugar juegos compatibles comprados en la biblioteca de Steam (Steam, 2022)[22].

Algunas de las características del dispositivo son que contiene un procesador Qualcomm Snapdragon XR2, un panel LCD con una resolución por ojo de 1832x1920 y una frecuencia de actualización de 120 Hz, un sistema operativo basado en Android 10 y almacenamiento interno de 128 GB o 256 GB[22].

Cabe destacar que el 1 de junio de 2023, Meta presentó oficialmente los Meta Quest 3, la última generación de su línea de cascos realidad virtual independientes.



Ilustración 2-1: Set Meta Quest 2

El set del que disponemos en el laboratorio y con el que hemos podido realizar este proyecto es el siguiente:

- 1.-Cascos Meta Quest 2
- 2.-Dos mandos de control táctiles y baterías AA
- 3.-Cable de carga para el casco
- 4.-Adaptador de corriente
- 5.-Espaciador para gafas

2.2.1.1 Comparativa del mercado

Tipos de Dispositivos	Meta Quest 2	HTC Vive Pro 2	Valve Index	PlayStation VR2	HTC Vive Focus 3
Tipo de dispositivo	Autónomo	PC VR	PC VR	Requiere PlayStation 4 o 5	Autónomo
Precio en \$	\$299	\$1,399	\$999	\$399	\$1,300
Resolución de pantalla por lente	1832 x 1920	2448 x 2448	1440 x 1600	960 x 1080	2448 x 2448
Campo de visión	90 grados	120 grados	130 grados	100 grados	120 grados
Seguimiento	Cámaras integradas	Cámaras externas	Cámaras externas	Cámaras PlayStation	Cámaras integradas
Controladores	Incluidos	Incluidos	Incluidos	Incluidos con PlayStation Move	3DoF con joystick integrado
Juegos y aplicaciones	Amplia biblioteca	Amplia biblioteca	Amplia biblioteca	Biblioteca limitada	Amplia biblioteca para empresas

Tabla 2-1: Comparativa de dispositivos virtuales.

2.2.1.2 Conclusiones de elección

Los Meta Quest 2 se han utilizado ya que disponen de bastantes más ventajas en comparación con otros cascos del mercado. Siguiendo las características de la tabla, diferenciamos varios aspectos clave respecto a los demás dispositivos:

- ✓ Libertad de movimiento. En comparación con otros cascos de realidad virtual como el PlayStation VR2 o el HTC Vive Pro 2, que necesitan estar conectados a la consola, los Meta Quest 2 son autónomos, lo que significa que no necesitan ningún cable ni otro dispositivo para funcionar. Esto te permite moverte libremente por tu espacio de juego sin restricciones.
- ✓ Configuración sencilla. Los Quest 2 son muy fáciles de configurar. Solo necesitas crear una cuenta de Meta y descargar la aplicación. En cambio, otros dispositivos necesitan muchos más componentes previos para su uso, como por ejemplo el PlayStation VR2 o el Valve Index necesitan una videoconsola u ordenador para poder usarse.
- ✓ Precio accesible. Los Quest 2 son uno de los dispositivos de realidad virtual más económicos del mercado, lo que las convierte en una opción ideal, en comparación con los cascos más usados que suelen tener precios mucho más elevados.

2.3 Experimento virtual

El concepto de experimento virtual es dinámico, se va adaptando continuamente al progreso tecnológico. Cada vez que se avanza tecnológicamente, evolucionan las modalidades de experimentación virtual, dando lugar a nuevos métodos de exploración para alinearse con estos avances tecnológicos. Este proceso refleja la naturaleza del experimento virtual, una naturaleza adaptable y en constante evolución donde la experimentación se optimiza y redefine en consonancia con los avances.

El experimento virtual es un entorno de ensayo construido mediante el uso de la realidad virtual. En este entorno, los usuarios llevan a cabo experimentos como si estuvieran en un entorno de prueba real. Los resultados experimentales obtenidos deben ser consistentes o incluso mejores que los resultados obtenidos en pruebas reales[23].

Además, hay científicos que sostienen que los experimentos virtuales son esencialmente una forma de experimentos de simulación digital por ordenador. Estos experimentos utilizan una plataforma de ensayo virtual que emplea tecnología de comunicación distribuida para llevar a cabo actividades de investigación cooperativas entre múltiples participantes y experimentos a distancia. Esta definición también se refiere a los experimentos virtuales como "experiencias remotas", centrándose en la colaboración a larga distancia[24].

En 1999, la UNESCO definió el laboratorio virtual como "una plataforma electrónica para la investigación experimental, colaboración remota u otras actividades innovadoras generadas a través de tecnología de comunicación e información distribuida"[24].

Los experimentos virtuales tienen unas características que dan muchas ventajas a los investigadores a la hora de realizar una prueba, entre ellas se destacan:

- Resultados verídicos.

Los resultados obtenidos en experimentos virtuales son consistentes con los de los experimentos físicos. En algunos casos, pueden ser incluso más precisos debido al control total sobre las variables experimentales y la eliminación de factores externos no deseados[24].

- Seguridad.

Otra gran ventaja y característica es que permiten realizar pruebas que podrían ser peligrosas, costosas o difíciles de llevar a cabo en un entorno físico, proporcionando un entorno seguro.

- Adaptabilidad.

Ya que es un entorno simulado y diseñado por los investigadores, se puede modificar fácilmente tanto los escenarios como las condiciones del experimento, lo que facilita la repetición y la variación de las pruebas sin necesidad de equipos adicionales o configuraciones complejas.

Estas ventajas se deben a la gran capacidad que se tiene de inmersión, ya que es fácil diseñar entornos tridimensionales detallados que replican fielmente las condiciones del mundo real. También se deben a la gran capacidad de interacción con el entorno y los objetos virtuales, ya que simulan de forma muy parecida a como se manipularían los objetos en un laboratorio físico. Esto permite a los participantes que puedan interactuar con equipos, realizar mediciones y observar resultados en tiempo real.

2.3.1 Cuestionarios

El uso de cuestionarios desempeña un papel crucial en la investigación relacionada con los experimentos virtuales, especialmente en el ámbito de la realidad virtual. A medida que la realidad virtual ha ganado prominencia en la última década, como una herramienta valiosa para la investigación en la comunidad de Interacción Persona-Computadora (HCI), se ha vuelto esencial comprender la experiencia subjetiva de los usuarios dentro de entornos virtuales.

Sin embargo, existen varios desafíos frente al uso normal de cuestionarios, ya que el uso convencional de estos implica que los participantes deben salir de la situación virtual para proporcionar sus respuestas. Este proceso puede introducir varios problemas.

- Interrupción de la experiencia. Cuando los participantes cambian de realidad virtual a física para completar los cuestionarios, se interrumpe la sensación de inmersión lo que puede generar una peor calidad en los informes.
- Sesgos en las respuestas. Cuando se produce el cambio de contexto, los participantes pueden tener dificultades para recordar y describir sus experiencias con precisión una vez fuera del entorno virtual,
- Pérdida de validez. La transición entre la realidad virtual y la física puede afectar la consistencia de las respuestas, ya que los participantes pueden experimentar desorientación temporal y pérdida de control.

En contraste, las tecnologías de realidad virtual ofrecen la posibilidad de incorporar cuestionarios directamente en el entorno virtual, evitando así la necesidad de que los participantes abandonen la experiencia inmersiva. Por ejemplo, utilizando The Virtual Reality Questionnaire Toolkit[25], este kit de herramientas se desarrollará más adelante en este proyecto.

Diversos estudios han explorado la implementación de cuestionarios en entornos virtuales, destacando la importancia de diseñar cuidadosamente las modalidades de interacción para garantizar la adecuada interpretación de los resultados. A pesar de los beneficios, todavía no existe un conjunto común de procedimientos de administración, ni herramientas estandarizadas para la presentación de cuestionarios en estudios de usuarios de realidad virtual.

Para ello un estudio realizado por el Digital Media Lab, University of Bremen, y el Open Lab, School of Computing de Newcastle University,[26] analizó la utilización de cuestionarios en la investigación sobre realidad virtual. De un total de 123 artículos revisados, 110 informan haber utilizado cuestionarios en sus estudios con usuarios de realidad virtual. Dado que el uso de dispositivos de realidad virtual implica decisiones de diseño respecto a la presentación de cuestionarios y preguntas individuales, se examinó como se documentaban estas decisiones en los experimentos de los artículos revisados.

De los 110 artículos que informaron del uso de cuestionarios:

- ✓ 77 artículos no especificaron cómo presentaron los cuestionarios a sus usuarios [26].
- ✓ 13 artículos indicaron que los participantes completaron el cuestionario después de salir del entorno de realidad virtual, pero no describen si utilizaron cuestionarios en papel o en pantalla[26].
- ✓ 15 artículos informaron sobre el uso de cuestionarios en el entorno virtual, ya sea para todo el procedimiento de preguntas o en combinación con cuestionarios externos, se utilizaron dos tipos:
 - INVRQS (In-Virtual Reality Questionnaires). Son cuestionarios que se utilizan para evaluar la experiencia del usuario dentro del entorno de realidad virtual. Se centran en la inmersión, la presencia y otros aspectos internos de la experiencia del usuario mientras interactúa con el entorno virtual [26].
 - OUTVRQS (Out-of-Virtual Reality Questionnaires). Se utilizan para evaluar la experiencia del usuario después de salir del entorno de realidad virtual. Y se enfocan en los efectos y percepciones del usuario después de haber completado la experiencia de realidad virtual[26].

En conclusión, el estudio revela una falta de estandarización y documentación en investigaciones de realidad virtual. Aunque la mayoría de los estudios utilizan cuestionarios para evaluar la experiencia del usuario, muchos no detallan cómo se administran estos cuestionarios, lo que puede afectar a la validez de los resultados.

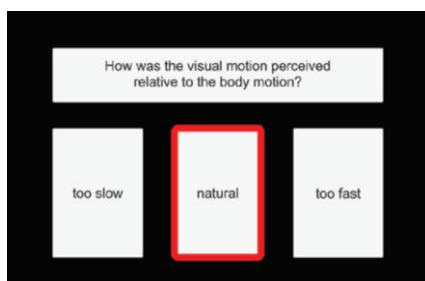


Ilustración 2-2: Ejemplo de cuestionario virtual [27].



Ilustración 2-3: Representación del uso de un cuestionario dentro de un entorno virtual[28].

También es importante destacar el estudio realizado por S. Putze, D. Alexandrovsky, F. Putze, S. Höffner, J. D. Smeddinck, and R. Malaka en 2020 [29], donde se investigó cómo el simple acto de hacer preguntas afecta la experiencia en realidad virtual, y si los cuestionarios en realidad virtual pueden minimizar la ruptura en la sensación de presencia, buscando reducir sesgos no controlados en el rendimiento y en los informes personales. Para explorar estas hipótesis, se llevó a cabo un estudio con usuarios (n=50), en el cual se registraron señales biométricas mientras jugaban un videojuego en realidad virtual con baja o alta calidad visual. Los participantes completaron cuestionarios sobre su experiencia tanto en un entorno virtual como en un ordenador personal en la realidad física. Los resultados del estudio como se aprecia en el artículo[29] indican:

- Interrupciones en la sensación de presencia. Los resultados indicaron claramente que ambos tipos de cuestionarios generan interrupciones en la sensación de presencia.
- Respuestas Fisiológicas. Las respuestas fisiológicas, medidas mediante la conductancia eléctrica de la piel (EDA), fueron significativamente menores y de menor duración para los cuestionarios en realidad virtual en comparación con los cuestionarios fuera de la realidad virtual.

En el estudio se llega a la conclusión de que los resultados sugieren que los cuestionarios en realidad virtual son menos intrusivos y proporcionan informes personales más confiables. También se observó que las interrupciones en la sensación de presencia pueden afectar el rendimiento en tareas subsiguientes, siendo estos efectos potencialmente más pronunciados en entornos de realidad virtual de alta calidad[29]. Estos hallazgos sugieren que los cuestionarios en realidad virtual son una herramienta valiosa para reducir la interrupción de la experiencia inmersiva y proporcionar datos más fiables. Los investigadores y diseñadores deben considerar estos resultados al seleccionar instrumentos de medición apropiados y al diseñar cuestionarios para entornos de realidad virtual[29].

Conclusión del uso de cuestionarios

Incorporar cuestionarios directamente dentro del entorno de realidad virtual presenta numerosas ventajas que mejoran la calidad y la validez de los datos recopilados. Al mantener la inmersión, minimizar los sesgos y mejorar la experiencia del usuario, se pueden obtener resultados más precisos sobre las experiencias y comportamientos de los usuarios en entornos virtuales. Esto, a su vez, facilita una mejor comprensión de las aplicaciones de realidad virtual, beneficiando tanto a los investigadores como a los diseñadores de las experiencias virtuales.

3 UNITY

Comprender que hay otros puntos de vista es el principio de la sabiduría.

Thomas Campbell, 1948

En este capítulo nos centraremos en las características fundamentales de Unity, el software central empleado en el estudio del toolkit VRSTK. Un toolkit es la traducción en inglés de conjunto de herramientas, ofrece un conjunto estructurado de funciones que permiten a los investigadores llevar a cabo tareas específicas de manera más eficiente. Unity es un entorno de desarrollo para la creación de experiencias virtuales, que desempeña un papel crucial en la implementación y evaluación de VRSTK.

3.1 Historia

Unity, conocido comúnmente como Unity3D, es una plataforma de desarrollo 3D en tiempo real (real-time engine), usada generalmente como motor de videojuegos. Según el CEO David Helgason, Unity se presenta como un conjunto de herramientas que facilita la construcción de juegos, encargándose de aspectos como gráficos, audio, física, interacciones y networking[30].

La primera versión de Unity (1.0.0) fue desarrollada por David Helgason, Joachim Ante y Nicholas Francis en Dinamarca, y fue lanzada el 6 de junio de 2005. Su objetivo era ofrecer un motor de juegos asequible con herramientas profesionales, destinado a desarrolladores aficionados, al mismo tiempo que buscaba democratizar la industria del desarrollo de juegos. Los creadores se inspiraron en la sencillez del flujo de trabajo, el canal de activos y la interfaz de arrastrar y soltar del producto Final Cut Pro de Apple[30].

Cuando Unity fue lanzado inicialmente, solo estaba disponible para Mac OS X y las opciones de implementación estaban limitadas a algunas plataformas[30].

3.2 Unity: Versiones y uso

Unity brinda la posibilidad de desarrollar juegos para diversas plataformas, desde ordenadores y consolas hasta dispositivos móviles y realidad virtual. Este motor ofrece una amplia gama de características, como un editor de nivel, un sistema de física, iluminación y audio integrados.

La actualización constante de Unity introduce nuevas características y mejoras, dividiendo las versiones del motor en dos categorías: LTS (Soporte a Largo Plazo) y TECH Stream. Las versiones LTS garantizan estabilidad y soporte durante dos años, siendo ideales para proyectos en producción o a punto de lanzarse. Algunas de las últimas versiones LTS incluyen Unity 2023 LTS, Unity 2022 LTS y Unity 2021 LTS.

Por otro lado, las versiones TECH Stream ofrecen acceso a las últimas tendencias y mejoras del motor, siendo ideales para desarrolladores que desean estar a la vanguardia. Ejemplos de estas versiones son Unity 2023.4, Unity 2022.3 y Unity 2021.3.

Además, Unity tiene distintos planes de licencias para poder usar sus funciones.

- **Unity Student.** Es una licencia gratuita para estudiantes a través del plan de estudiantes de Unity, para acceder se requiere una verificación a través de correo electrónico de la institución del estudiante.
- **Unity Personal.** Es otra licencia gratuita de Unity, pero con ciertas limitaciones, está diseñada para principiantes o para hacer proyectos de pequeña escala.
- **Unity Pro.** Es la versión de pago de Unity, ofrece el conjunto completo de características del motor, está diseñada para desarrolladores profesionales y grandes proyectos.
- **Unity Industry.** Es otro plan de pago de Unity diseñada para empresas no relacionadas con los videojuegos, ofreciendo soluciones adaptadas a sectores como la automoción, arquitectura e ingeniería.

Unity se destaca por distintas características como el editor de nivel visual, el sistema de física integrado, iluminación realista, audio integrado y el soporte para diversos lenguajes de scripting como C#, JavaScript y Boo. Por otro lado, incluye un compilador que permite a los desarrolladores ejecutar juegos para múltiples plataformas. También se utiliza para crear juegos en diversas categorías, como juegos para ordenador, consolas (PlayStation, Xbox, Nintendo), dispositivos móviles (iOS y Android) y juegos de realidad virtual.

3.3 Iniciación a Unity

Para poder iniciar un Proyecto, antes de todo tendremos que descargar Unity Hub, que es una aplicación de escritorio, que permite a los desarrolladores de Unity administrar sus proyectos, versiones del Editor y licencias. Es una herramienta gratuita y está disponible para todos los usuarios de Unity[31].

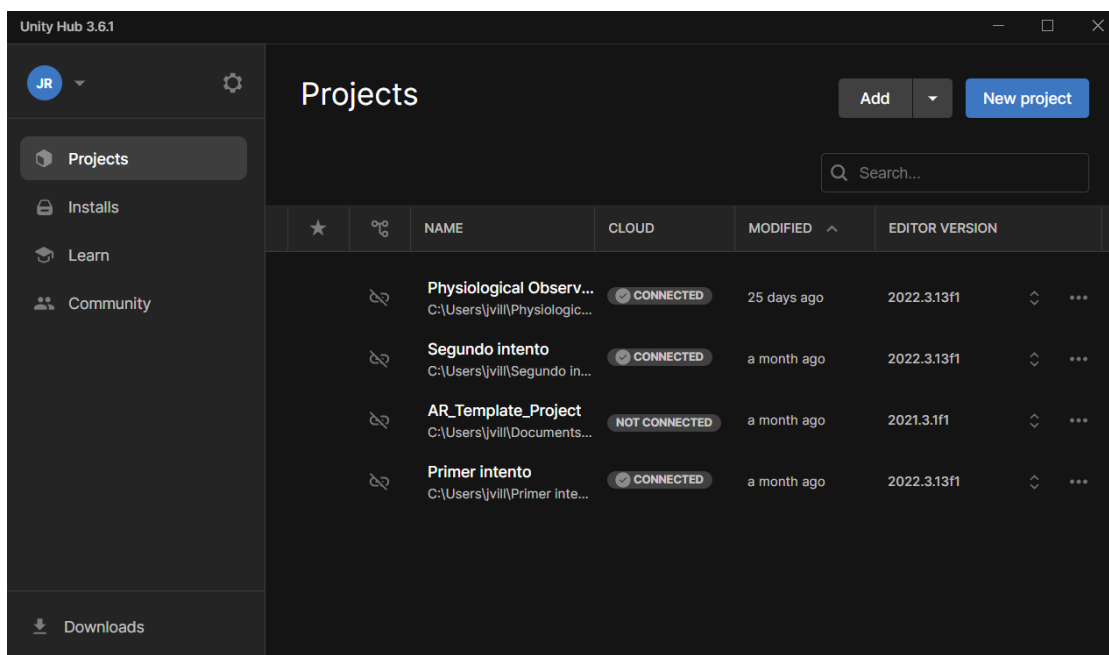


Ilustración 3-1: Unity Hub

En cuanto a las versiones del Editor, Unity Hub da la posibilidad de instalar y desinstalar diversas versiones, permitiendo a los desarrolladores crear y gestionar perfiles de versiones para asignar una específica a cada proyecto. En términos de licencias, la aplicación permite activar y desactivar licencias de Unity, brindando información relevante como la fecha de vencimiento y el número de usuarios permitidos.

Unity Hub se presenta como una herramienta esencial para los desarrolladores de Unity, que pueden aprovecharla para crear nuevos proyectos, seleccionar versiones del Editor, organizar proyectos en carpetas y etiquetas, instalar nuevas versiones del Editor para probar funciones innovadoras, y activar licencias para nuevos proyectos.

Para iniciar la creación de un proyecto mediante Unity Hub, primero, hay que acceder a la sección de *Projects*, en esta sección podemos desde crear un nuevo proyecto haciendo clic en el botón de *New Project*, como importar un proyecto ya creado, haciendo clic en el botón de *Add*. Para comenzar un proyecto de cero seleccionamos *New Project*.

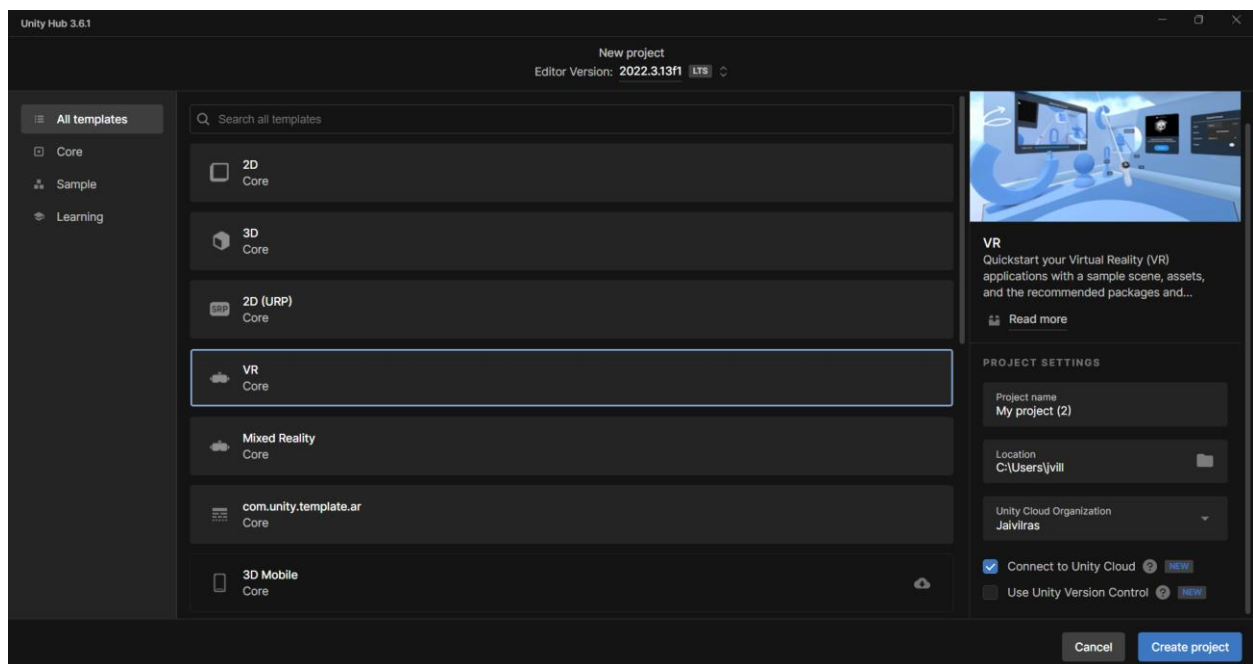


Ilustración 3-2: Creación de un proyecto en Unity

Al hacer clic, se desplegará una ventana que nos permitirá elegir el tipo de proyecto que deseamos crear, asignarle un nombre y especificar la carpeta donde queremos que se guarde el nuevo proyecto que estamos creando, como muestra la ilustración 3-3.

En nuestro caso, queremos hacer un nuevo proyecto de realidad virtual, entonces tendremos que seleccionar la plantilla de VR. Aunque también podemos realizar proyectos en todo tipo de plantillas (2D, 3D, 2D(URP), Mixed Reality, AR Mobile, y muchas más). Análogamente, si se vuelve al inicio del Unity Hub, es posible encontrar otras pestañas aparte de *Projects*, con otras funciones.

Siguiendo con la introducción del Unity Hub, encontramos justo debajo de *Proyectos*, la sección de *Installs*, donde podemos visualizar las diversas versiones del programa Unity que están instaladas en el sistema. También ofrece la opción de acceder a las versiones más actualizadas de Unity.

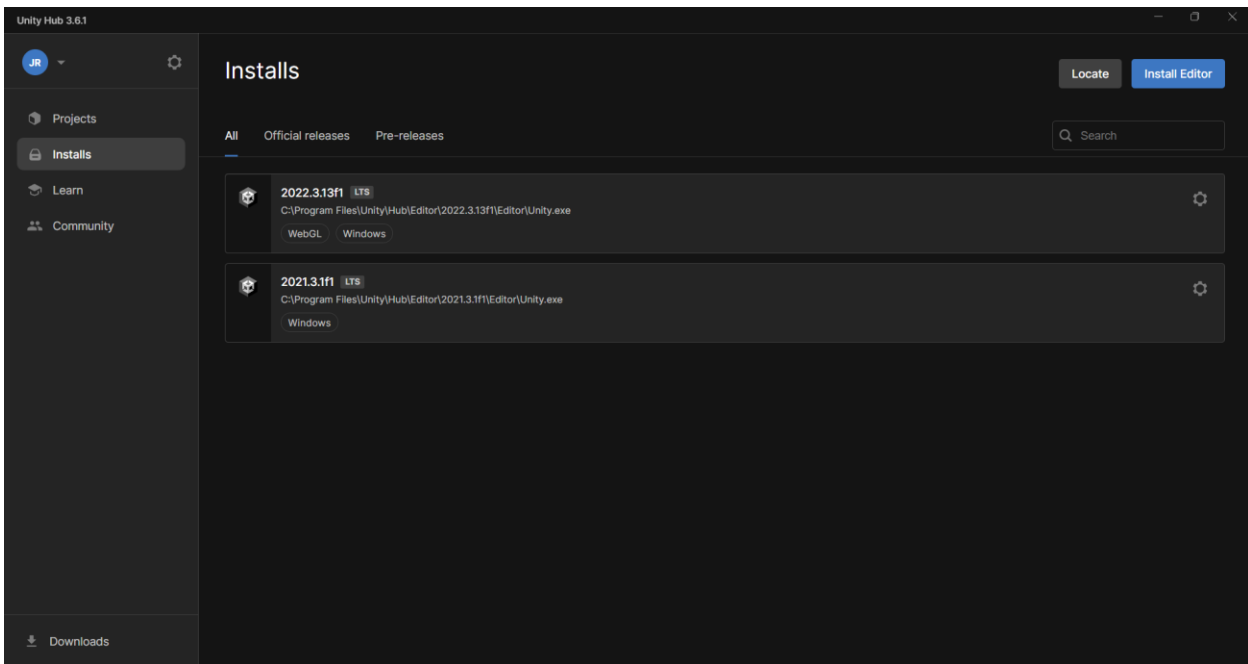


Ilustración 3-4: Versiones instaladas

También nos encontramos con la pestaña de *Learn*, donde se encuentra disponible una extensa variedad de proyectos y tutoriales para descargar. Estos recursos están diseñados para proporcionar una oportunidad de ampliar conocimientos acerca de la herramienta Unity. Además de ser valiosos como material educativo, también ofrecen la posibilidad de apreciar el trabajo creativo de otros usuarios y empresas que han compartido sus proyectos en la plataforma.

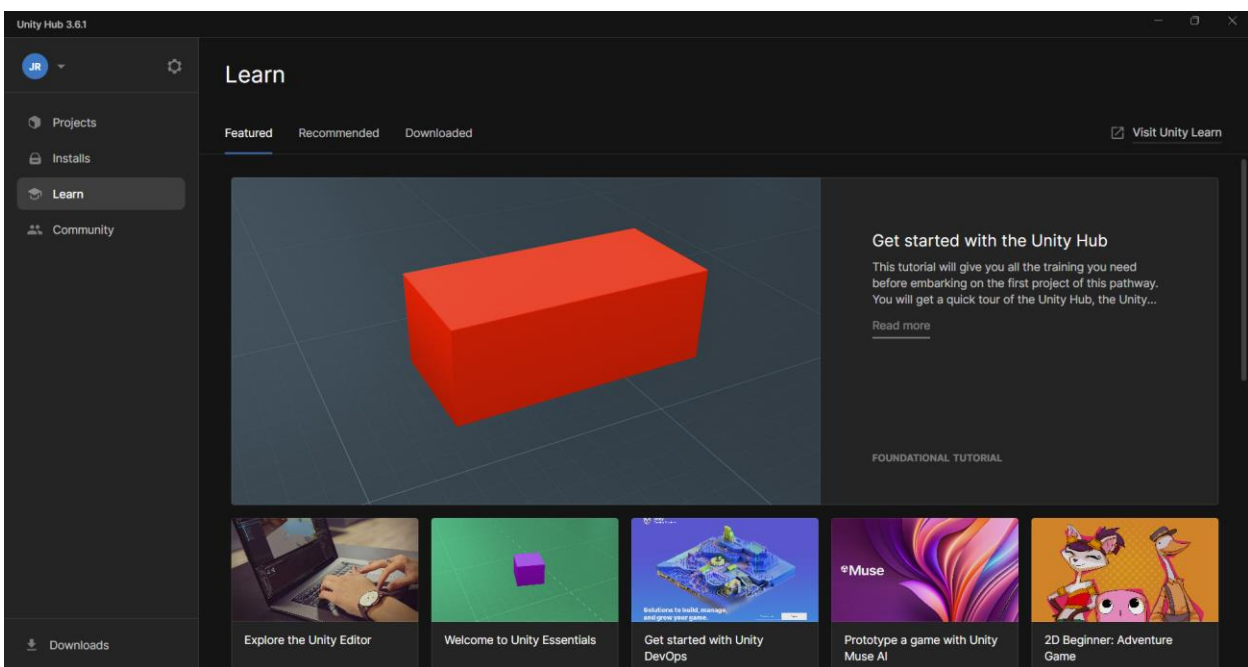


Ilustración 3-5: Tutoriales de Unity

Y por último también está la pestaña de *Community*, que es un centro para que los desarrolladores de Unity se conecten con otros, encuentren recursos y se mantengan al día con las últimas noticias y tendencias de Unity, incluye secciones como foros, wiki, documentación, eventos, recursos.

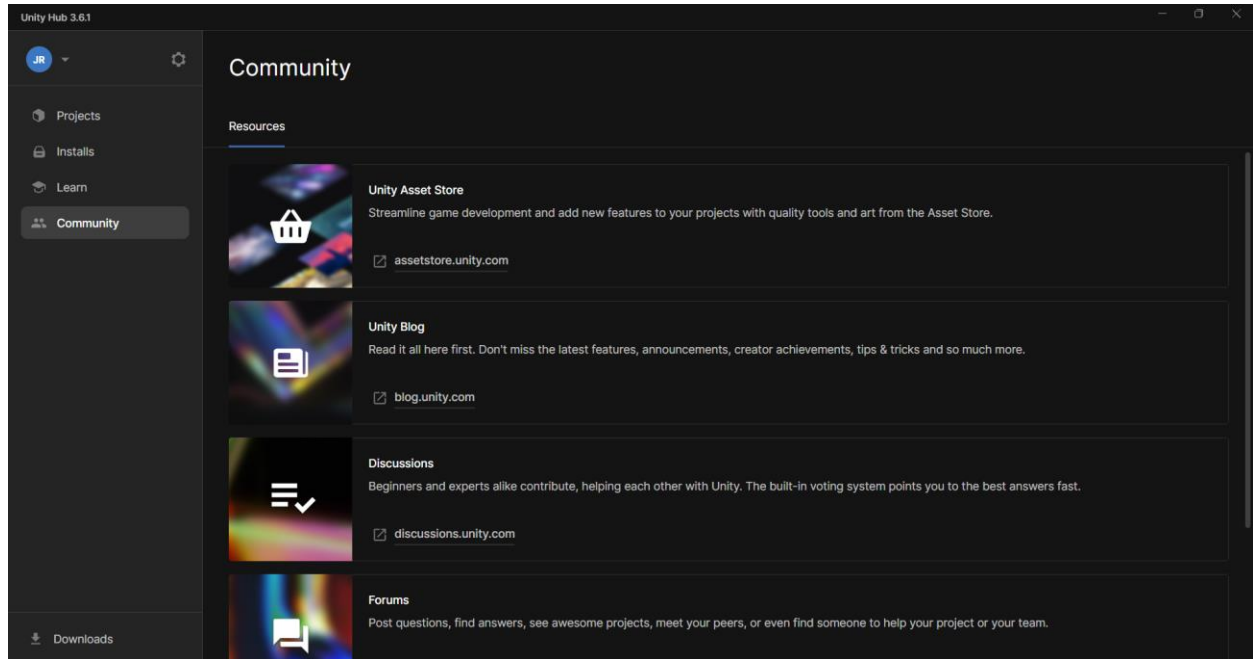


Ilustración 3-6: Comunidad Unity

Esta breve guía sobre las pestañas iniciales de Unity Hub es importante para introducir el siguiente apartado.

3.4 Unity Editor

Una vez introducidas las características y funciones del Unity Hub, podemos pasar a explicar las distintas partes del editor de Unity a la hora de crear un nuevo proyecto de realidad virtual.

El entorno de trabajo por defecto es el siguiente:

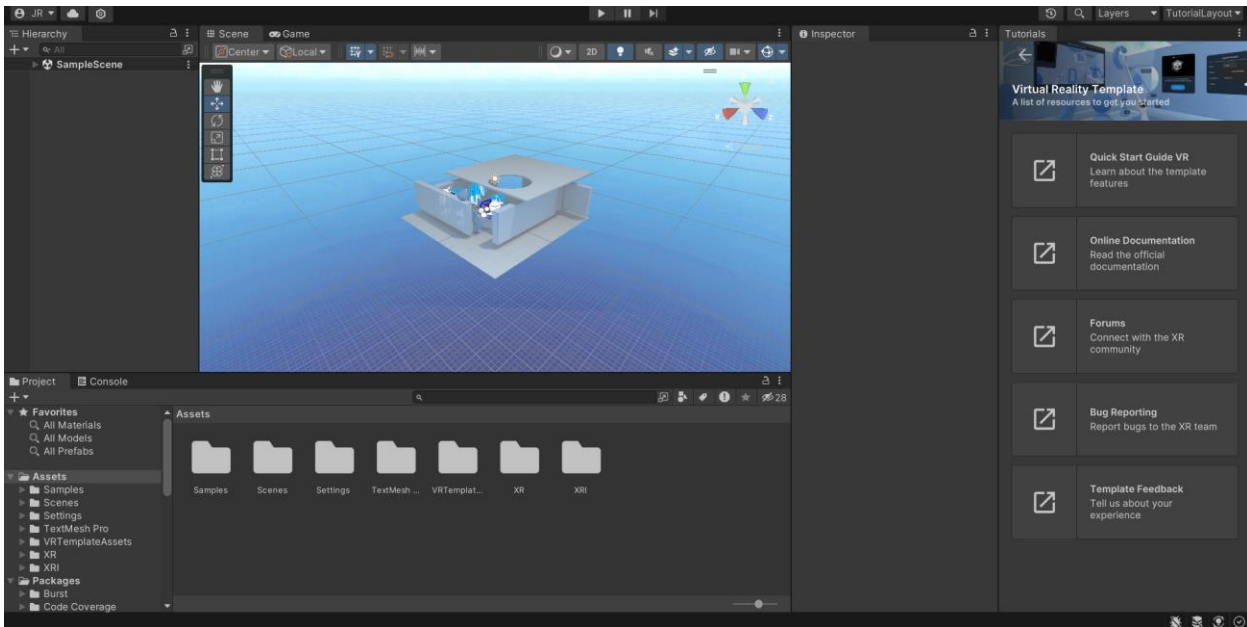


Ilustración 3-7: Entorno Unity

Es importante antes de entrar en las distintas partes del editor de Unity, definir ciertos conceptos que pueden ser útiles a la hora de empezar un proyecto.

Assets. Son todos los archivos que se utilizan para poder crear nuestro proyecto. Estos activos pueden ser creados fuera de Unity y luego importados, o pueden ser generados directamente dentro del entorno de Unity. Algunos ejemplos de Assets son los clips de audio, los scripts, sprites, modelos en 3D y fuentes de texto.

Scripts. Son archivos de código escritos en lenguajes de programación como C# o Java, que se utilizan para definir comportamientos del entorno virtual.

Sprites. Son imágenes en 2D que representan personajes, objetos y otros elementos en proyectos 2D.

GameObject. Es la unidad básica de cualquier escena dentro de Unity, actúa como contenedor vacío que por sí mismo no tiene ninguna funcionalidad. Para darle una funcionalidad es necesario añadirle componentes. Como información adicional cada GameObject tiene un nombre que lo identifica, una etiqueta que lo diferencia de los otros y una capa a la que pertenece, utilizada para definir cómo interactúan los objetos[32].

3.4.1 Barra de menú

La barra de menú se encuentra en la parte superior izquierda del entorno de trabajo inicial:

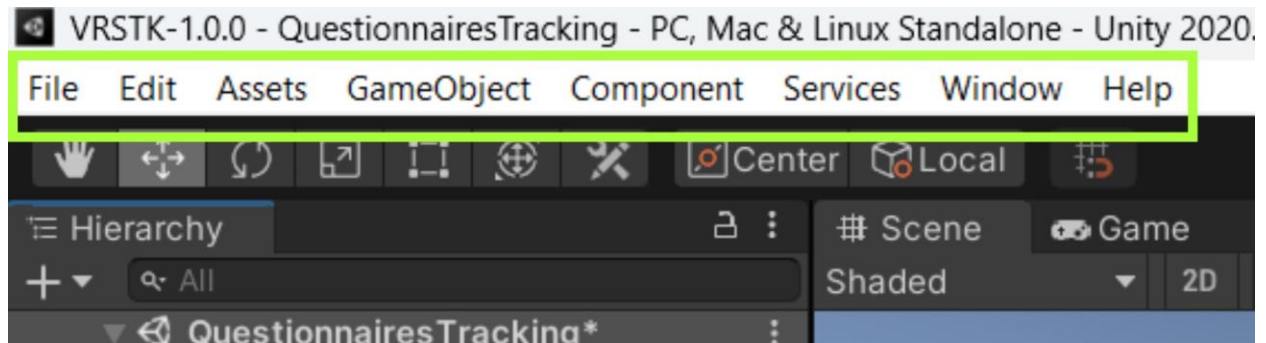


Ilustración 3-8: Barra del menú

Archivo (File). Desde este menú desplegable, se pueden ejecutar acciones como crear, abrir o guardar escenas y proyectos en Unity. Además, aquí se encuentran todas las opciones disponibles para exportar el proyecto creado.

Edición (Edit). En esta sección desplegable, se encuentran herramientas de edición como seleccionar todos los elementos de la escena, duplicar, renombrar, copiar y pegar, entre otras funciones. También es posible ajustar las características del proyecto desde esta ventana.

Recursos (Assets). Cada objeto importado en la escena genera una carpeta, y desde este panel se ofrecen varias opciones para manejar dichos recursos.

GameObject. Una lista desplegable que ofrece opciones para la creación de objetos en 2D, 3D, cámaras, luces, etc.

Componente (Component). Esta lista desplegable presenta modificadores que pueden aplicarse a los diferentes objetos presentes en la escena del proyecto.

Entrada Móvil (Mobile Input). Esta ventana muestra las opciones de habilitar o deshabilitar. Permanecerá deshabilitada a menos que se esté interactuando con el entorno utilizando un dispositivo móvil.

Ventana (Window). Permite ajustar el aspecto de la pantalla de inicio y las características de la luz, entre otras funciones.

Ayuda (Help). Proporciona asistencia sobre el uso del programa, información sobre la licencia, reporte de errores, entre otros recursos de ayuda.

3.4.2 Principales ventanas en el editor

Ahora vamos a introducir brevemente las principales ventanas del editor.

1.-Hierarchy

Es una lista de todos los GameObjects que tenemos en nuestra escena. Siempre que abramos un nuevo proyecto tendremos dentro de hierarchy una cámara, llamada *Main Camera* que será la que nos permita visualizar los diversos GameObjects, también al inicio de la ventana hierarchy habrá un elemento llamado *SampleScene*, esto es una escena, que básicamente es un entorno de GameObjects, cabe destacar que es común organizar los niveles en escenas.

2.-Scene

La escena es el espacio donde se visualiza de manera gráfica el resultado del entorno creado. De manera predeterminada, el entorno se creará con una cámara y un sol que actúa como fuente de luz. Aquí se puede ver todos los assets del proyecto. En esta ventana podemos observar en proyecto en 2D o en 3D.

3.-Inspector

Permite ver y modificar los parámetros de los GameObjects. Cuando se crea un objeto o selecciona uno existente en la escena, todos sus atributos y componentes se muestran en esta pestaña. Desde el inspector también se puede agregar componentes y personalizar los GameObjects ajustando sus parámetros.

4.-Project

Esta ventana funciona igual que una ventana de Windows Explorer o Finder en Mac, En este espacio, se pueden ubicar todos los recursos que se han incorporado al proyecto, independientemente de si están presentes en la escena o no. También sirve como el punto de acceso para explorar los assets que tenemos disponibles.

5.-Tutorial

En esta pestaña, encuentras una guía rápida de como inicializar el proyecto según la plantilla que hayas elegido.

6.-Game

Es la pestaña que está justo al lado de Scene es la representación final de nuestro proyecto, es decir lo que está capturando la cámara y es lo que vera el usuario a la hora de usar el proyecto.

7.-Console

En la consola se muestran los errores y advertencias que vayamos cometiendo a la hora de hacer el proyecto, también podremos comprobar el estado de nuestro código.

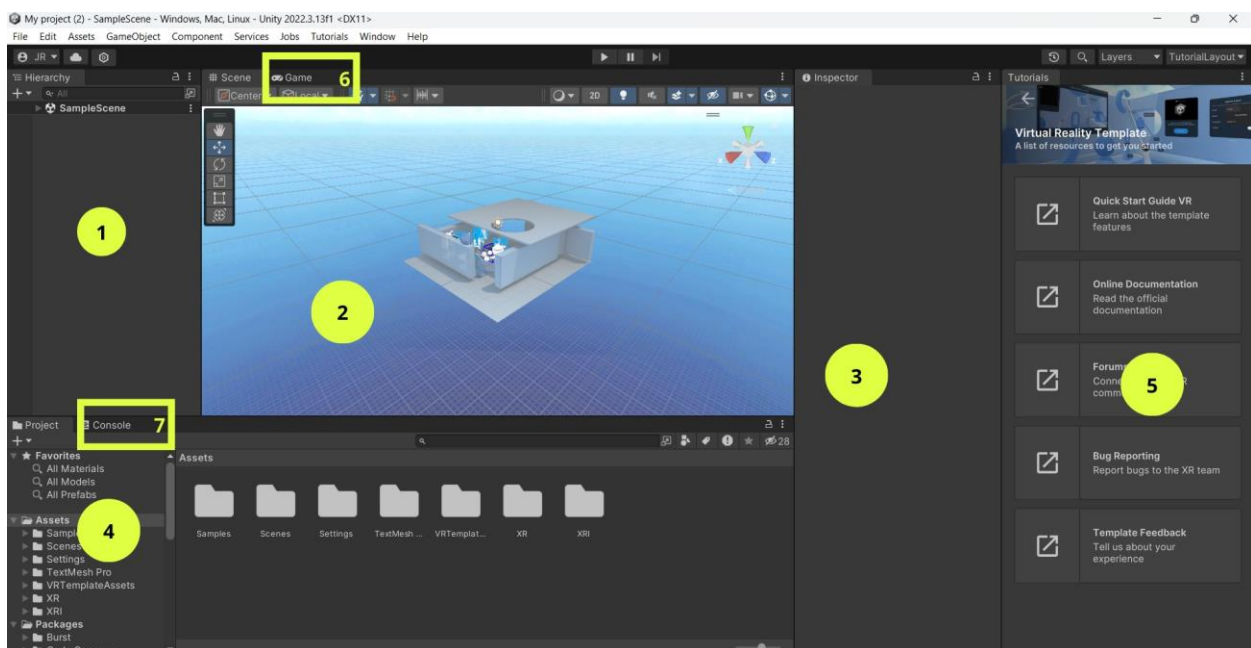


Ilustración 3-9: Entorno seleccionado

La ilustración 3-9 representa la ubicación de las principales ventanas del editor, con su enumeración correspondiente, en círculo las que están abiertas en la imagen y en rectángulo las que no están abiertas en la imagen.

Siendo el orden:

1.-Hierarchy. 2.-Scene. 3.-Inspector. 4.-Project. 5.-Tutorial. 6.-Game. 7.-Console.

3.5 Conclusión

En este capítulo se ha hecho una breve introducción de los aspectos más importantes del motor de desarrollo 3D en tiempo real, Unity. Como se verá en los siguientes capítulos, para realizar el experimento en el que se enfoca este proyecto, va a ser necesario tener los conocimientos previos de esta plataforma, desde añadir un nuevo proyecto o implementar uno ya creado, hasta conocer las distintas ventanas de Unity. Por tanto, es crucial tener en cuenta este apartado de la memoria, para poder desenvolverse de una manera más eficaz a la hora de realizar el proyecto.

4 TOOLKITS

The fundamental problem of communication is that of reproducing at one point either exactly or approximately a message selected at another point.

Claude Shannon, 1948

En este capítulo se va a estudiar los distintos tipos de herramientas disponibles en el mercado, y que características hay que seleccionar a la hora de elegir un toolkit fijándonos en áreas como configuración y control, detección de participantes, representación del entorno y manejo de datos.

4.1 Necesidad de un toolkit

Como se ha comentado previamente la realidad virtual es un campo muy usado por los investigadores de muchas materias para realizar sus experimentos, pero existen varios problemas actualmente a la hora de intentar llevar a cabo un ensayo con realidad virtual. El principal problema es que los motores que se utilizan para crear los entornos de prueba no están diseñados para facilitar la investigación del comportamiento humano, ya que la mayoría tienen como principal función respaldar la creación de contenido interactivo en 3D. Por ejemplo, tanto Unity, de Unity Technologies o Unreal, de Epic Games, están pensados para desarrollar videojuegos en gran medida.

Entonces para intentar enfocar el uso de la realidad virtual en el ámbito de la investigación, y sobre todo en el estudio del comportamiento y cuerpo humano, se necesitan funciones de grabación, reproducción y análisis de datos de sensores alineados con el entorno virtual. Estas funciones que no vienen integradas en la plataforma de desarrollo, entonces se deberían incluir en estos motores.

Aquí es donde entran en juego los toolkits, siguiendo la breve definición del capítulo anterior, básicamente son un conjunto de herramientas, bibliotecas y recursos que facilitan el desarrollo y la implementación de experimentos en entornos de realidad virtual. Son muy útiles para resolver el problema de la poca eficiencia de las plataformas de desarrollo virtual en el campo de la investigación, ya que están diseñados para simplificar tareas complejas, permitiendo a los investigadores crear y manejar experiencias virtuales de manera más eficiente. Entre las múltiples ventajas que ofrecen los toolkits a la investigación se pueden destacar.

- **Integración de sensores.** Facilitan la integración de diversos sensores como cámaras de seguimiento ocular y dispositivos de captura de movimiento.
- **Análisis de datos.** A partir de la grabación del experimento permiten el análisis detallado de datos durante los experimentos, incluyendo posiciones del participante, interacciones, y respuestas fisiológicas.

- Plantillas de simulación. Proporcionan componentes predefinidos para estudiar interacciones dentro del entorno virtual, sin necesidad de que los investigadores tengan que crear de cero herramientas para su investigación.
- Facilidad de uso. Diseñados para ser accesibles tanto para investigadores expertos como para investigadores con menos experiencia técnica, gracias a que muchos toolkits tienen guías básicas de uso.
- Soporte para múltiples plataformas. Permiten el desarrollo de experimentos virtuales que pueden ejecutarse en diferentes dispositivos y sistemas operativos.

Por ejemplo, como caso de necesidad de toolkits, en un estudio realizado por la Universidad Regional Autónoma de Los Andes[33], se utilizó el XR Interaction Toolkit, ya que necesitaban una solución para poder simular condiciones similares a las de un laboratorio de biología, para que alumnos de segundo de bachillerato pudiesen estudiar e interactuar con contenidos de asignaturas relacionadas con el sistema óseo y muscular[33]. Se usó el XR Interaction Toolkit debido a que las herramientas de realidad virtual que disponían no tenían las condiciones necesarias para simular este caso de uso.

Como conclusión, es necesario la inclusión de toolkits especializados en plataformas de realidad virtual para avanzar en las investigaciones que lo requieran, como por ejemplo en el comportamiento humano. Los toolkits facilitan los procesos de investigación, proporcionando las herramientas necesarias para analizar datos complejos, de forma que facilitan la creación de experimentos más precisos en entornos virtuales.

4.2 Toolkits existentes

Hay muchísimos toolkits, tanto OpenSource como de carácter privado, que se pueden usar para realizar un experimento con Unity o cualquier motor de realidad virtual, pero nos vamos a centrar en aquellos conjuntos de herramientas que respalden la investigación en factores humanos. Por lo tanto, nos limitaremos a presentar y analizar conjuntos de herramientas con este enfoque más específico.

Los conjuntos de herramientas que vamos a analizar son los siguientes.

- Unity Experiment Framework (UXF)[34]. Es un conjunto de herramientas de código abierto para Unity. Se utiliza para facilitar el desarrollo de experimentos enfocados en el comportamiento humano en realidad virtual. Ofrece una variedad de características que simplifican la creación y ejecución de experimentos, incluyendo facilidades en la definición de tareas, en la recolección de datos, y en la sincronización de dispositivos, donde permite sincronizar la presentación de estímulos y la recolección de datos con dispositivos externos, como dispositivos de electroencefalografía.
- OVR Toolkit[35]. Es un conjunto de herramientas diseñado para facilitar y agilizar la visualización del escritorio en realidad virtual. Permite ver el escritorio dentro de la realidad virtual, colocar ventanas de este en cualquier lugar del entorno virtual, usar el ratón, escribir con un teclado virtual y cambiar rápidamente entre ventanas. Aunque no tenga relación directa con el comportamiento humano, puede llegar a ser muy útil para los investigadores a la hora de supervisar un experimento.
- VREX. Es un conjunto de herramientas de código abierto para el motor Unity, se especializa en psicología experimental y neurociencia[36]. A pesar de que VREX brinda asistencia general para la configuración de experimentos de realidad virtual, abordando diversos protocolos de estudio sobre percepción, atención, cognición y memoria, carece de atributos particulares que se asemejen a los de Unity Experiment Framework, como, por ejemplo, interfaces de detección[37].
- Toggle Toolkit[38]. Este paquete permite asignar cambios a objetos de realidad virtual y registrar los datos generados para un análisis posterior. Sin embargo, sigue siendo una solución genérica que no implementa características específicas, como interfaces de seguimiento facial o corporal[38].

- Experiments in Virtual Environments (EVE)[39]. Es un conjunto de herramientas que permite a los investigadores diseñarlas diferentes etapas de un experimento. Está diseñado específicamente para investigadores sin formación especializada en informática, ya que se proporciona una interfaz gráfica de usuario sencilla, un manual de usuario y tutoriales. Una de sus mayores características es la capacidad para definir, recopilar y analizar diferentes tipos de datos de comportamiento (por ejemplo, seguimiento ocular, control del avatar) y fisiológicos (por ejemplo, electrodérmicos, electrocardiografía)[37], [39].
- Virtual Reality Scientific Toolkit (VRSTK)[1]. Esta herramienta de código abierto publicada por el laboratorio de investigación alemán iXperience Lab[2], potencia las capacidades de Unity y está disponible en el repositorio de GitHub del laboratorio bajo la licencia MIT. Sus funciones abarcan la grabación y revisión de experimentos, la recolección y análisis de datos personalizados de usuarios a partir de información sensorial proporcionada por el casco o hardware adicional, así como la implementación de cuestionarios dentro de la experiencia de realidad virtual[40].

4.3 Características de selección de un toolkit

Para diferenciar y analizar el mejor toolkit adecuado para un experimento, es esencial evaluar varios aspectos clave. Estos campos de evaluación nos ayudarán a tomar una decisión informada sobre cuál toolkit ofrece las mejores características para nuestras necesidades. Nos centraremos en las siguientes áreas.

4.3.1 Setup

A la hora de elegir un toolkit para un experimento, es crucial fijarse en su instalación y configuración. En primer lugar, hay que ver su facilidad de uso, es decir, la capacidad que tiene dicho toolkit para configurarse y utilizarse fácilmente, ya que en un experimento puede que existan ciertos investigadores que carezcan de experiencia técnica, entonces es esencial tener una herramienta que no dificulte la investigación. Frente a su configuración, la flexibilidad es un pilar básico, debido a que es necesario tener la posibilidad de personalizar y adaptar el toolkit para diferentes tipos de experimentos, incluso tener la posibilidad de hacer un ensayo de forma remota, esto puede ofrecer nuevas oportunidades para diversificar los tipos de pruebas, reducir el gasto en configuraciones de prueba y llevar a cabo estudios durante posibles confinamientos. También es importante los campos de documentación y soporte, dado que si existe algún problema si se dispone de soporte técnico o guía detalladas, será mucho más fácil resolverlo.

4.3.2 Detección de participantes

Cuando se trata de elegir cual es el conjunto óptimo para un experimento en el que se tiene que analizar a los participantes, una característica a estudiar es la capacidad de detección participantes debido a que el hardware de realidad virtual está equipado con varios sensores que son esenciales para crear un ambiente interactivo. Dependiendo de la tecnología utilizada para la captura de movimiento, se puede obtener un mejor conjunto de información, como emociones, intenciones o relaciones. Especialmente cuando se trata de utilizar cuestionarios y representar características faciales en entornos de realidad virtual. Un buen conjunto de herramientas garantiza la efectividad y la precisión de los cuestionarios, como ya se ha explicado en capítulos anteriores de este proyecto los cuestionarios dentro de la realidad virtual son una herramienta indispensable para la mayoría de los estudios, para medir las respuestas de los participantes que no pueden ser capturadas adecuadamente por la información sensorial.

4.3.3 Representación virtual

En la realidad virtual, cómo percibimos el entorno y sus elementos depende principalmente de cómo se representan visualmente y de nuestra capacidad para interactuar con ellos. Aunque no siempre se busca lograr el máximo realismo, las aplicaciones modernas de realidad virtual suelen esforzarse por crear entornos atractivos y realistas. Esto implica asegurar una representación visual fiel del entorno, un comportamiento convincente de los avatares y la capacidad de interactuar de manera efectiva con los elementos del entorno[37].

Entonces la elección del toolkit tiene que basarse en gran medida en sus gráficos, sobre todo en la calidad de estos y en la capacidad para crear entornos inmersivos y realistas. Al igual que en la interacción con el usuario, el toolkit debe permitir al usuario interactuar de forma intuitiva y realista con el entorno virtual.

4.3.4 Manejo de los datos

Para realizar una evaluación detallada del experimento, es fundamental garantizar el acceso a todos los datos relevantes. Esto implica que el proceso de procesamiento de datos debe ser transparente y capaz de recopilar, procesar y administrar toda la información pertinente para su posterior análisis, ya sea en tiempo real o después de finalizado el experimento. Este proceso de manejo de datos trae una serie de desafíos en el procesamiento de datos, como la sincronización, el preprocesamiento y la fusión[37]. Respecto a la importación, exportación y transmisión de datos, el objetivo principal es asegurar que los datos se almacenen de manera que conserven propiedades de archivo excelentes. Para lograr esto, es necesario estandarizar las hojas de datos, garantizar su compatibilidad con las bases de datos, y permitir un manejo sencillo del software. Además de exportar datos en formatos estándar como .json o .csv[37].

Por lo tanto, de los aspectos más importantes que el toolkit debe tener, es dar capacidades para recopilar datos detallados sobre las interacciones y comportamientos de los participantes de una forma precisa y de alto nivel. Es importante a la vez que tenga funcionalidades ya integradas para analizar los datos recogidos, y que no se tenga que usar de otro software para interpretar estos datos.

4.4 Conclusiones

Cada uno de estos toolkits tiene su propio conjunto de ventajas y desventajas como se aprecia en la Tabla 4-2, y la elección del más adecuado dependerá de las necesidades específicas del experimento de realidad virtual que se vaya a llevar a cabo. En modo de conclusión, los factores como la facilidad de uso, la capacidad de personalización, las características de análisis de datos y la compatibilidad con hardware adicional deben ser considerados para seleccionar el toolkit más adecuado para una investigación en particular.

Toolkit	Ventajas	Desventajas	Precio
Unity Experiment Framework (UXF)	<ul style="list-style-type: none"> - Personalizable. - Facilita la creación y gestión de experimentos. -Soporte para análisis de datos. 	<ul style="list-style-type: none"> -Tiene problemas en la obtención de datos utilizando sensores[34]. -Dificultad para nuevos usuarios[34]. 	Gratuito

OVR Toolkit	-Capacidad de estar interactuando con el experimento, y personalizarlo en directo. -Amplia compatibilidad[41].	-Cuando los experimentos son muy complejos y específicos tiene problemas en la representación del escritorio[41]. -Su uso depende mucho del hardware.	Gratuito
VREx	-Muy útil en neurociencia y psicología. -Fácil implementación.	-Falta de interfaces avanzadas[36]. -Menos flexible para estudios fuera de su enfoque principal.	Gratuito
Toggle Toolkit	-Permite el registro de datos para análisis posterior.	-Falta de características específicas como interfaces de seguimiento facial o corporal	Gratuito
Experiments in Virtual Environments (EVE)	-Proporciona herramientas para mediciones fisiológicas	-Dificultad para nuevos usuarios.	Gratuito
Vizard	-Excelente compatibilidad con dispositivos de seguimiento -Facilita la recopilación y análisis de datos detallados.	-Falta de soporte para detección facial -Es caro debido a la necesidad de hardware compatible.	Desde 995 euros (licencia individual)
Virtual Reality Scientific Toolkit (VRSTK)	- Personalizable y adaptable. -Facilita la grabación y revisión de experimentos.	-Requiere tiempo inicial de configuración. - Necesita hardware adicional para recolección completa de datos sensoriales.	Gratuito

Tabla 4-1: Comparativa de toolkits

Concluyendo, si se analiza la Tabla 4-2, observando las características más concretas de los conjuntos de herramientas existentes estudiados, se puede observar que el VRSTK es un buen candidato para realizar un experimento con Unity, debido a su buena compatibilidad con este motor, su accesibilidad como herramienta open source, y sus amplias funciones para la recolección y análisis de datos, incluyendo la implementación de cuestionarios dentro del entorno virtual. Estas características lo convierten en una opción sólida para investigadores que buscan una solución para sus experimentos en realidad virtual.

5 VRSTK

En este capítulo se va a estudiar las características de la herramienta creada por el iXperienceLab [2]VRSTK[1], por otro lado, también se va a estudiar las distintas versiones que nos aparecen en GitHub[1], especificando en sus escenas y características.

5.1 Introducción de VRSTK

Como se ha mencionado a lo largo del proyecto, para llevar a cabo un estudio de realidad virtual inmersiva implica enfrentar varios desafíos. Además de entender los principios básicos de plataformas de desarrollo en tiempo real como Unity3D, es necesario implementar diversas rutinas de prueba. Estas rutinas abarcan desde la adquisición de datos, grabación, almacenamiento y sincronización[37]. En vez de estar creando nuevas rutinas de prueba en cada nuevo experimento, es mucho más eficaz, hacer plantillas genéricas e ir modificándolas acorde a las necesidades de cada ensayo. Esta estrategia no solo acelera el proceso de desarrollo, sino que también reduce la probabilidad de cometer errores. De aquí surge la necesidad de VRSTK.

VRSTK, Virtual Reality Scientific Toolkit, proporciona un marco de trabajo de este tipo. Facilita la creación y ejecución de experimentos centrados en el ser humano en entornos de realidad virtual inmersiva, simplificando su desarrollo y reduciendo tareas redundantes. VRSTK es una herramienta de código abierto que amplía las capacidades de Unity, publicado bajo la licencia MIT.

Las características del VRSTK incluyen.

- **Configuración y control.** Estructuración de fases y condiciones de estudio, con entrada en vivo y control para el operador mediante interfaces personalizadas.
- **Seguimiento de varios elementos.** Incluyendo el movimiento del participante, seguimiento de la mirada y los ojos, EEG, EDA, ECG y objetos del juego.
- **Cuestionarios.** Integración de cuestionarios utilizando VRQuestionnaireToolkit[42].
- **Reproducción de escenas.** Capacidad para reproducir escenas grabadas.
- **Importación y exportación de datos JSON.** Para facilitar el intercambio de datos.
- **Análisis.** Utilizando plantillas con Python, así como una puntuación de validez con VRQuestionnaireToolkit[42].
- **Multijugador utilizando Mirror.** Admite aplicaciones multijugador mediante el uso de Mirror, una herramienta de red de código abierto para Unity.
 - **Normalización asimétrica:** Que se refiere a desvincular la autopercepción sensorial de la percepción de los demás en un entorno virtual compartido para presentar a cada usuario una versión normalizada de los otros usuarios[43].

Otra característica muy importante de VRSTK es que permite ejecutar experimentos remotos, permitiendo a su vez, realizar ensayos con más de un participante[43]. Asimismo, VRSTK es compatible con una variedad de cascos de realidad virtual a través del OpenXR[44], un estándar abierto desarrollado por el grupo Khronos[44] cuyo objetivo es proporcionar una API (conjunto de reglas y especificaciones que los programas de software siguen para comunicarse entre sí) unificada que permita a los desarrolladores crear aplicaciones de que funcionen en una amplia variedad de hardware y plataformas sin necesidad de escribir código específico para

cada uno[45]. También es destacable que, dentro del entorno virtual, utiliza el VRInteractionToolkit para la locomoción y la interacción, siguiendo el estado actual del desarrollo de la realidad virtual en Unity[40].

Entrando un poco en la característica de seguimiento de varios elementos, es importante destacar que se puede acceder a características y análisis más avanzados utilizando diversos sensores ya integrados:

- Electroencefalografía (EEG) con el dispositivo Epoc X6 de Emotiv.
- Actividad eléctrica de la piel (EDA) con BITalino de Plux Biosignals.
- Electrocardiografía (ECG) también con BITalino de Plux Biosignals.
- Seguimiento de objetos físicos con HTC Vive Trackers.
- Seguimiento completo del cuerpo con HTC Vive Trackers.
- Seguimiento ocular como se presenta en HTC Vive Pro Eye.
- Interfaz serial genérica para integrar una amplia gama de sensores, como sensores de humedad o temperatura de plataformas como Arduino[40].

La mayoría de estas características son modulares y pueden ser distribuidas con escenas predefinidas específicas. Estas escenas pueden ser modificadas según las necesidades del investigador. Además, se puede grabar y almacenar todo el proceso del estudio para cada participante.

La capacidad de recopilar datos de múltiples sensores simultáneamente y revisarlos utilizando la función de reproducción permite al investigador comprender mejor las respuestas fisiológicas y cognitivas de los participantes a los estímulos, lo que facilita obtener resultados más precisos. Igualmente, todos los datos rastreados pueden ser exportados en formato JSON para un análisis posterior en Python u otro software estadístico. Cabe destacar que el objetivo principal del VRSTK es reducir la barrera de entrada y simplificar la configuración general, mientras aumenta la replicabilidad de los estudios realizados en realidad virtual inmersiva[40].

5.2 Versiones de GitHub

En el repositorio de GitHub del centro de investigación iXperience Lab, donde se encuentra la herramienta VRSTK, podemos encontrar tres versiones de este.

- Versión Master. Incluye un experimento ya creado, junto con todas las herramientas utilizadas en ese experimento. Es ideal para quienes desean ver un ejemplo completo y funcional del uso de VRSTK.
- Versión Release. Esta es la versión inicial de VRSTK, que no incluye ninguna escena predefinida. Aquí se encuentran todos los prefabs necesarios para poder crear un experimento desde cero. Es importante destacar que un prefab en Unity es un objeto preconfigurado que se puede reutilizar en las distintas escenas de un proyecto, ahorrando tiempo en la configuración repetitiva. Para utilizar esta versión, es necesario seguir unos pasos de configuración que se indican en GitHub.
- Versión VRSTK-1.0.0. Es la versión más reciente en el repositorio, modificada por última vez el 23 de enero de 2023 e incluye varias plantillas de escenas de experimentos ya creadas. Esto proporciona un punto de partida más avanzado para desarrollar nuevos experimentos, facilitando el proceso de creación.

Cada una de estas versiones está diseñada para las diferentes necesidades de desarrollo, desde la creación de experimentos completamente nuevos hasta el uso de plantillas para acelerar el proceso de investigación.

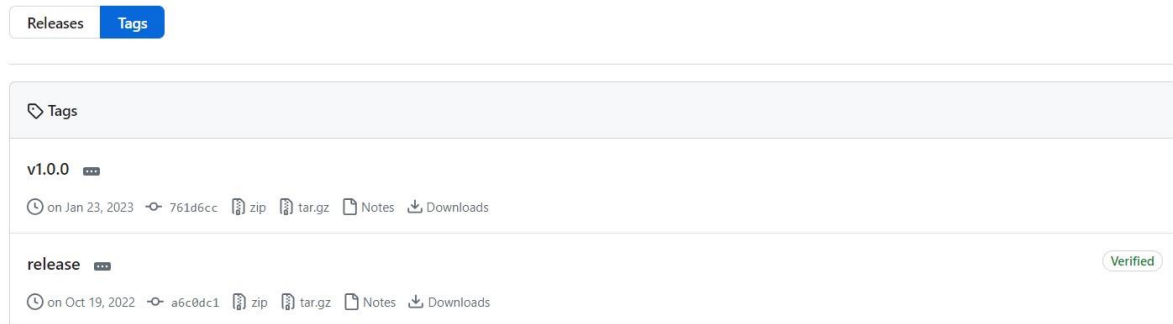


Ilustración 5-1: Versiones VRSTK GitHub [1]

Para establecer el entorno de prueba básico, se dispone de una guía de inicio rápido en el repositorio de GitHub de VRSTK[1]. Para instalar el tanto la versión Release como la VRSTK-1.0.0 se necesitará que tengamos instalados en nuestro motor de realidad virtual los siguientes paquetes y versiones del propio motor.

- Unity3D 2020.3.x
- XR Unity Packages
 - OpenXR min. version 1.3.1
 - XR Plugin Management min. version 4.2.x
 - XR Interaction Toolkit min. version 2.2.0
- New Unity Input System min. version 1.3.0

Las versiones más recientes de VRSTK se publican regularmente en el repositorio también.

5.3 Guía rápida para el uso de la versión Release

Aunque nuestro proyecto se basa en el estudio de una escena de la versión VRSTK-1.0.0, se va a dejar una pequeña guía rápida por si quiere usar la versión Release, para empezar nuestro propio experimento, sin plantillas ya creadas. Para empezar desde cero construyendo nuestro experimento con Unity debemos:

- 1- Instalar los paquetes mencionados en el punto 5.1.
- 2- Abrir *Project Settings*, para abrir *Project Settings* hay varias formas, por ejemplo, abrir la pestaña de *Services*, y clicar en *General Settings*.
- 3- Una vez en *Project Settings* debemos configurar:
 - En *Player*, abrimos la pestaña *Other Settings* y seleccionamos:
 - Api Compatibility Level* = .NET Framework
(En el caso de que no saliera Net Framework (esto puede variar dependiendo de la versión))
Selecciona Api Compatibility Level* = .NET

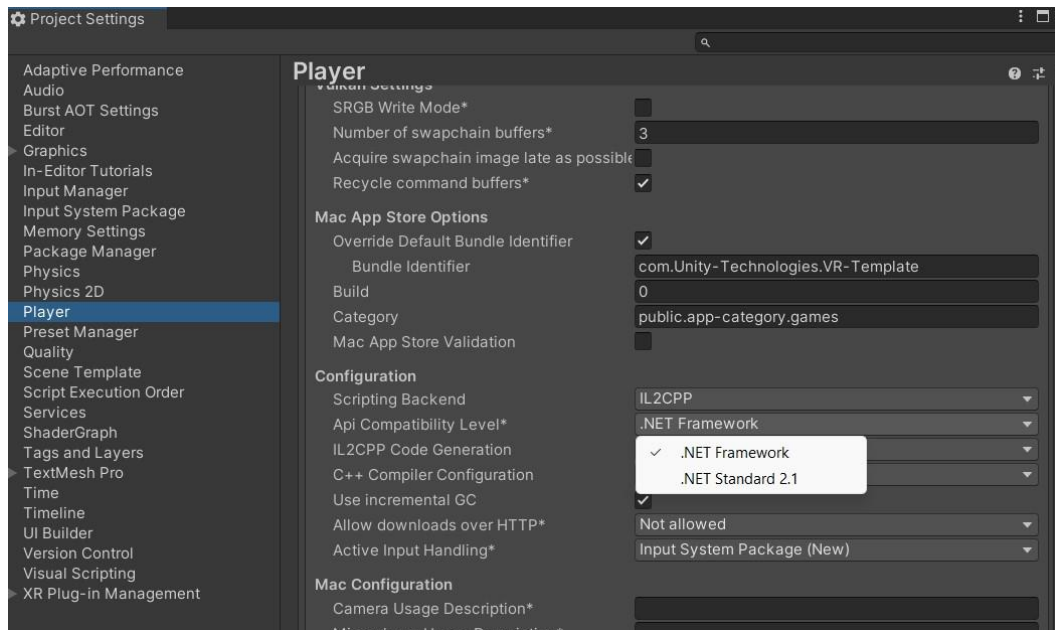


Ilustración 5-2: Project Settings

- En XR Plug-in Management selecciona OpenXR = ‘True’
 - Interaction Profiles
 - Eye Gaze Interaction Profile
 - {Used-HMD} Controller Profile

(Aquí seleccionamos los dispositivos que queremos usar en nuestro experimento, en este caso hemos dejado los que seleccionan en la guía rápida de GitHub, pero podríamos seleccionar cualquier otro, dependiendo de las características de nuestro proyecto)
 - OpenXR Feature Groups
 - Runtime Debugger = ‘True’

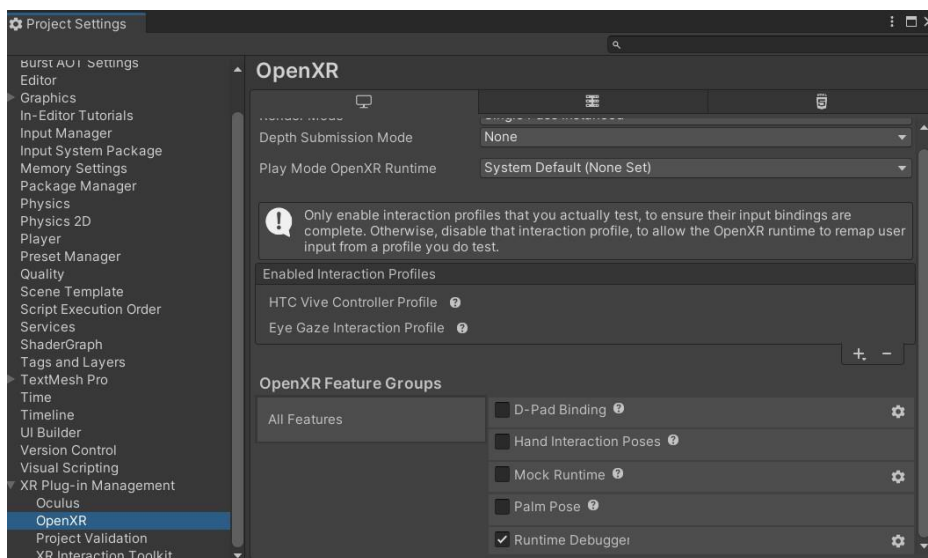


Ilustración 5-3: Project Settings OpenXR

Como se indica en repositorio web del iXperience el paquete de Unity de VRSTK contiene solo las funcionalidades básicas como seguimiento, reproducción, etc. Para utilizar funcionalidades más específicas como el seguimiento ocular o el soporte para EEG, los subpaquetes deben importarse desde la carpeta "Extensions" en la versión de lanzamiento. La versión de lanzamiento consta de los siguientes paquetes:

Paquetes de VRSTK:

- VRSTK.unitypackage

Extensiones:

- AutomaticDataAnalysis.unitypackage
- BitalinoTracking.unitypackage
- EmotivCortexTracking.unitypackage
- EyeTracking.unitypackage
- EyeTrackingLocomotionTrackingHeatmap.unitypackage
- EyeTrackingScanPath.unitypackage
- VRQuestionnaireToolkit.unitypackage
- VRSTK_Multiplayer.unitypackage

En el caso de nuestro proyecto, veremos en los siguientes apartados que usaremos el VRQuestionnaireToolkit.unitypackage que viene ya desarrollado dentro de la versión 1.0.0.

Una vez configurado el proyecto para la instalación del paquete VRSTK, se importa el VRSTK.unitypackage. Después de la importación, se tendrá la carpeta 'VRSTK' en el proyecto, la cual contiene todo el material necesario para modificar la plantilla según las necesidades del experimento, más concretamente la carpeta contiene scripts, preajustes, assets y prefabs. Para utilizar los mandos de control de un casco de realidad virtual en la carpeta importada hay preajustes para estos, se encuentran en la carpeta "VRSTK/Scripts/VRIntegration". Los preajustes para el mando de control derecho y para el izquierdo, se llaman:

- LeftController
- RightController

Se añaden y activan haciendo clic en "Agregar a ActionBasedController default" en el inspector[1]. Después de este paso, los preajustes deben activarse en el "Preset Manager" bajo "Project Settings" ingresando un nombre (como "LeftHandContorller") para un preajuste.

Por otro lado, el paquete VRSTK contiene las carpetas de la ilustración 5-4, estas carpetas disponen de todos los recursos disponibles para nuestro experimento.

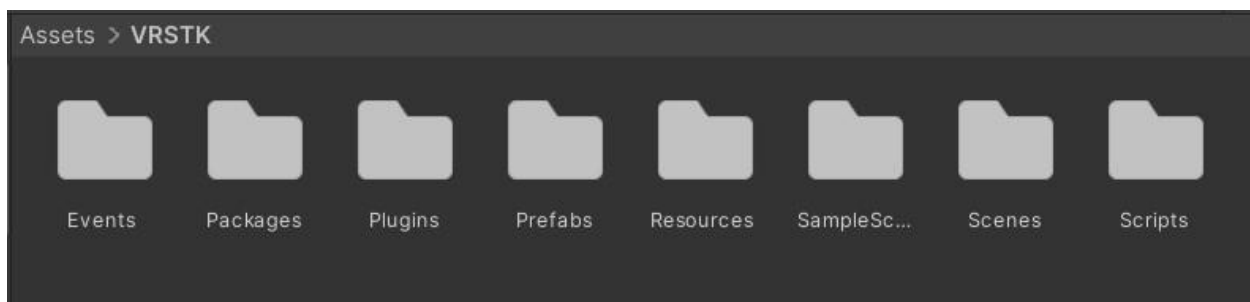


Ilustración 5-4: Directorios dentro de VRSTK

Al ser la versión básica de VRSTK en el directorio Scenes solo hay tres escenas disponibles:

- Basic. Para una introducción de OpenXR.
- GazeTracking. Es un ejemplo de seguimiento de dirección de la mirada.
- Locomotion Tracking. Es un ejemplo de seguimiento de movimientos.

Debido a que la versión Release es bastante básica, solo se ha introducido la instalación del paquete VRSTK, si se quisiera seguir profundizando en esta versión, por ejemplo, en la configuración de los escenarios, en el repositorio web [1] donde se encuentra, hay disponible una breve explicación.

5.4 VRSTK-1.0.0

Es importante recalcar que, aunque durante los apartados anteriores se ha ido refiriendo a VRSTK-1.0.0 como una versión del paquete VRSTK, en realidad se trata de un proyecto de Unity ya creado. Donde los desarrolladores del toolkit le han añadido más plantillas y funcionalidades, para que cuando un investigador inicie su experimento con este toolkit no tenga que configurarlo todo desde el principio.

VRSTK-1.0.0 ha sido elegido para hacer un estudio más profundo ya que contiene muchas más plantillas preconfiguradas en comparación con las otras versiones del toolkit, esto da la posibilidad de realizar una variedad de experimentos superior. Otra razón es que es el proyecto más reciente en el repositorio web, es decir, es el último que se modificó, esto es importante ya que tiene funcionalidades adicionales añadidas y posibles errores corregidos. Y otro motivo es la incorporación de escenas muy útiles para el estudio de este proyecto, como el uso de cuestionarios.

Para poder tener acceso a VRSTK-1.0.0 hay que dirigirse al repositorio web del laboratorio alemán iXperience [1] y descargaremos el zip “VRSTK-1.0.0”.

Una vez descargado y descomprimido el zip, abriendo en Unity Hub la pestaña *Projects*, pulsando *Add*, se puede seleccionar el directorio donde se ha descomprimido el zip, a continuación, se puede añadir el proyecto a Unity Hub.

5.4.1 Estudio de VRSTK-1.0.0

A diferencia de la versión Release el proyecto VRSTK-1.0.0 incluye varias plantillas ya predefinidas para poder hacer experimentos desde una base establecidas, con multitud de scripts ya prediseñados.

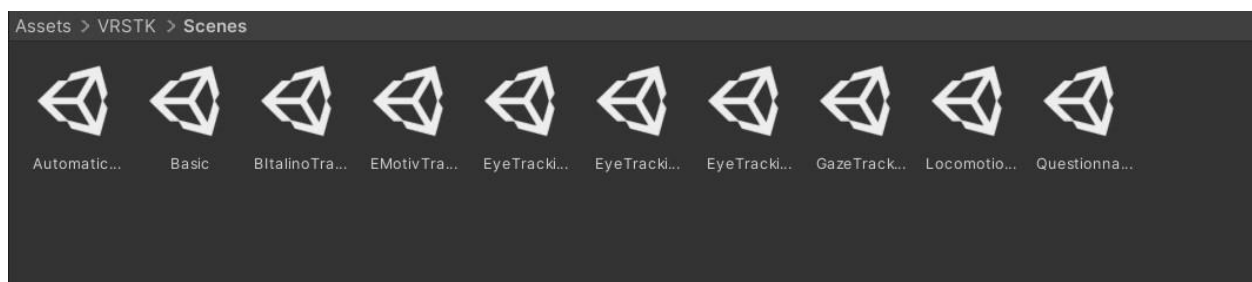


Ilustración 5-5: Escenas VRSTK-1.0.0

Las escenas se encuentran en el directorio Scenes (VRSTK> Scenes). Las escenas predefinidas tienen cada una distintas finalidades de uso, a continuación, vamos a analizarlas muy brevemente. En concreto son AutomaticDataAnalysis, Basic, BitalinoTracking, EmotivTracking, EyeTracking, EyeTrackingLocomotionTracking, EyeTrackingLocomotionTrackingHeatMap, EyeTrackingScanPath, GazeTracking, LocomotionTracking y QuestionnairesTracking.

- AutomaticDataAnalysis. esta escena está diseñada para realizar análisis automáticos de los datos recopilados durante los posibles experimentos. A través de los scripts integrados en la escena, se puede observar varias funciones, como la activación y visualización de modelos. Esto permite examinar diferentes aspectos de los datos recopilados de manera interactiva. Además, se puede controlar la cámara, permitiendo al usuario visualizar los datos desde una perspectiva en primera persona. Esta funcionalidad facilita el análisis detallado de los experimentos. Otra funcionalidad clave es la capacidad de activar un objeto y restablecer la lista de modelos asociados al comienzo de una etapa de prueba. Esto implica que la escena es muy importante en la gestión de pruebas y en la preparación de datos para su análisis automático.

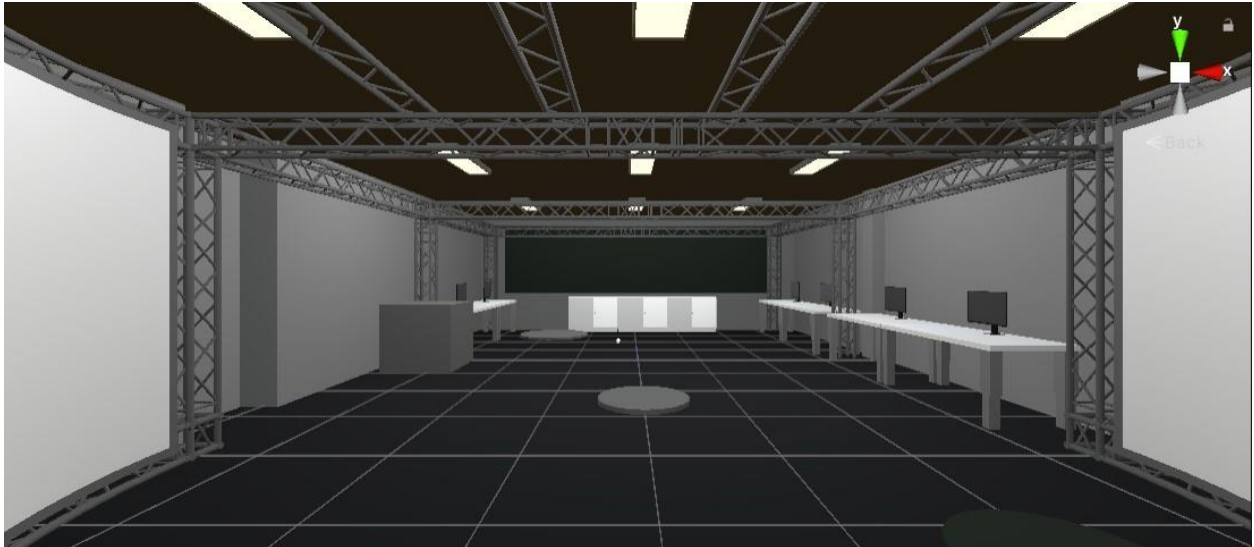


Ilustración 5-6: Decoración de la escena AutomaticDataAnalysis

- Basic. Esta escena es una introducción básica al uso de VRSTK y de OpenXR. No incluye ningún paquete característico, es una escena desde cero, para poder darle las funcionalidades que se quieran.
- BitalinoTracking. Es una escena muy básica, donde se puede implementar el seguimiento utilizando dispositivos BITalino. Con el uso de estos dispositivos los datos biométricos como la actividad eléctrica de la piel (EDA) o la actividad cardíaca (ECG) pueden ser capturados y visualizados en tiempo real.
- EmotivTracking. Esta escena se enfoca en el seguimiento utilizando dispositivos EEG de Emotiv. Esta escena permite la captura y visualización de datos relacionados con la actividad cerebral del usuario durante la experiencia en realidad virtual.
- EyeTracking. Esta escena está centrada en el seguimiento ocular. Permite la detección y registro de la dirección de la mirada del usuario, lo que puede ser útil para analizar el comportamiento visual durante la interacción con la realidad virtual. Es necesario utilizar hardware de seguimiento ocular, como el HTC Vive Pro Eye.

- EyeTrackingLocomotionTrackingHeatMap. Esta escena combina el seguimiento ocular con el seguimiento de la locomoción del usuario en un entorno virtual. Además, incluye la función de generación de mapas de calor para visualizar áreas de interés basadas en el seguimiento ocular y el movimiento del usuario.

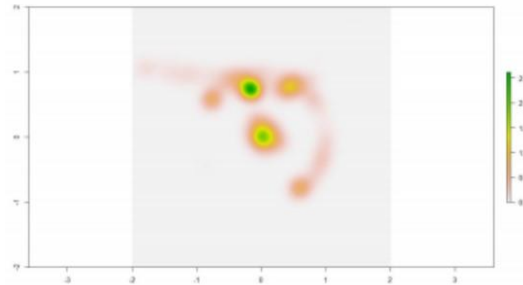


Ilustración 5-7: Mapa de calor [1].

- EyeTrackingScanPath. En esta escena es posible analizar los resultados del seguimiento ocular en forma de rutas de escaneo visual. Estas rutas pueden ayudar a comprender cómo el usuario explora y percibe el entorno virtual.
- GazeTracking. Similar a la escena EyeTracking, esta escena se enfoca específicamente en el seguimiento de la dirección de la mirada del usuario. Incluye funcionalidades para detectar hacia dónde mira el usuario y utilizar esa información para interactuar con objetos en el entorno virtual, sin necesariamente requerir hardware de seguimiento ocular específico.
- LocomotionTracking. Esta escena se centra en seguir y visualizar los movimientos y locomoción del usuario dentro del entorno de realidad virtual. Esto implica registrar y analizar los movimientos físicos del usuario, incluyendo su posición y orientación. Tiene la capacidad de recopilar datos sobre los movimientos del usuario durante la locomoción, como la distancia recorrida y la velocidad, que se utilizan para analizar el comportamiento del usuario y evaluar la efectividad de los métodos de locomoción virtual. Aunque la escena sólo incluye dos formas de locomoción, correr y andar también se podría teletransportar si implementamos el sistema de decoración que se utiliza en la ilustración 5-6.
- QuestionnairesTracking. Es la escena que nos vamos a centrar en el siguiente capítulo, está destinada a la realización de cuestionarios dentro del entorno de realidad virtual. Proporciona herramientas para crear y administrar cuestionarios, así como para recopilar y analizar respuestas de los usuarios.

5.4.2 Inicio y depuración de errores

Cuando iniciamos el proyecto VRSTK-1.0.0, antes de iniciar cualquier escena, puede que aparezcan en la consola multitud de errores. Estos errores son debido a que no se dispone del todo el hardware, que VRSTK-1.0.0 necesita para cumplir todas sus funciones, por ejemplo, si nos centramos en los errores de la ilustración 5-8 podemos observar que estos errores son debidos, a que no se dispone del hardware Emotiv, que es un hardware de Electroencefalografía. Esto es una posibilidad, ya que si se tuviera conectado todo el hardware que el proyecto necesita no se tendría ningún problema.

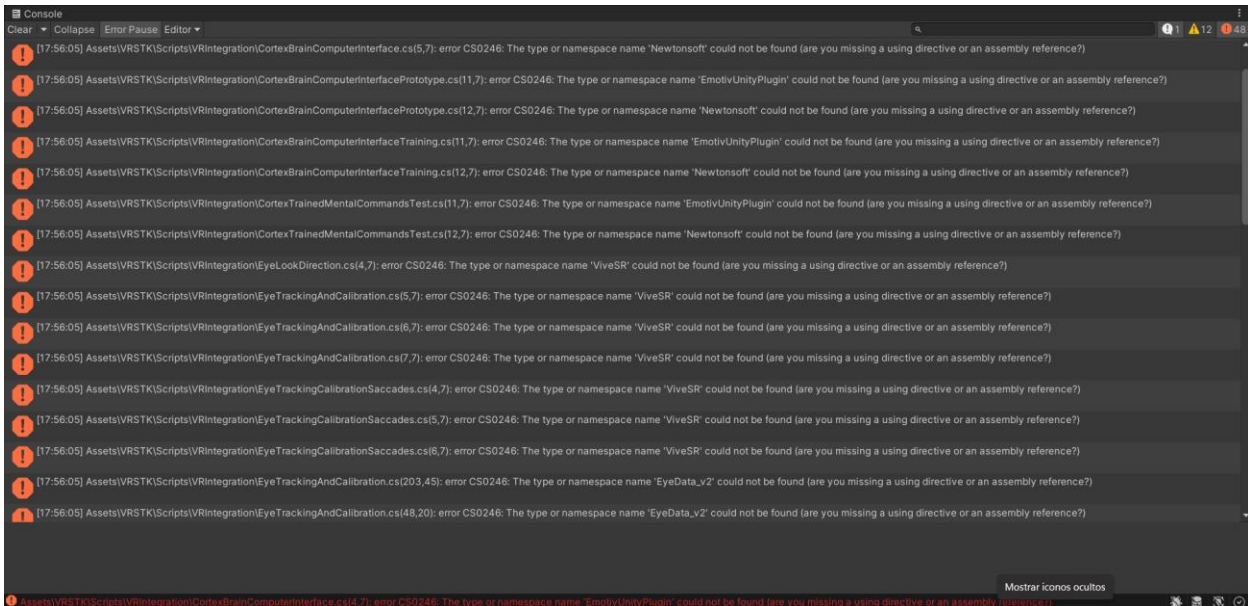


Ilustración 5-8: Errores encontrados

5.5 Conclusiones de elección de escena

Una vez revisada la herramienta VRSTK, se va a seleccionar una escena del proyecto VRSTK-1.0.0 para su estudio. El uso de las escenas de esta herramienta nos puede servir para muchos posibles experimentos virtuales que se hagan en la Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Sevilla, ya que partiríamos de una herramienta ya hecha y sobre todo gratuita. En nuestro caso vamos a estudiar la escena QuestionnaireTracking, como se ha comentado en capítulos anteriores los cuestionarios son una herramienta esencial en la forma de evaluar la experiencia del usuario en un experimento. Y en este caso la escena nos proporciona multitud de beneficios, al proporcionar plantillas de cuestionarios para usar en cualquier posible experimento virtual que se haga en el laboratorio o en cualquier investigación relacionada con realidad virtual.

En el laboratorio disponemos de los cascos de realidad virtual HTC VIVE y los Meta Quest 2, en esta situación, para hacer un estudio y probar esta herramienta hemos elegido los Meta Quest 2, ya que a la hora de iniciar el estudio de la escena estábamos interesados en ellos debido a su velocidad y facilidad de implantación con el VRSTK, también por su popularidad, ya que actualmente es uno de los cascos de realidad virtual más comunes en experimentos virtuales.

La escena QuestionnaireTracking ha sido elegida en base a las funcionalidades que nos puede proporcionar a la hora de hacer una investigación. Estas características son.

- Recopilación de datos en tiempo real. La escena permite la recopilación de respuestas de los usuarios en tiempo real mientras están en el entorno virtual. Esto asegura que los datos obtenidos sean inmediatos, proporcionando unos resultados reales de las percepciones de los usuarios.
- Integración de cuestionarios en el entorno virtual. Como se ha comentado la escena integra directamente los cuestionarios dentro del entorno virtual, eliminando la necesidad de herramientas externas. Esto mejora la fluidez con la que los participantes interactúan con el experimento, lo que puede tener respuestas más reales.
- Capacidad de personalización. La escena ofrece la posibilidad de crear cuestionarios personalizados permitiendo a los investigadores diseñar preguntas que cumplan los objetivos de su estudio.
- Mejora en la experiencia del usuario. Al permitir que los cuestionarios se hagan sin salir del entorno virtual, mejora la experiencia del usuario al evitar interrupciones. Esto puede aumentar la calidad de las respuestas obtenidas.
- Ahorro de tiempo y recursos. La automatización del estudio usando estas plantillas de cuestionarios permite a los investigadores centrarse en el análisis e interpretación en lugar de en tareas de creación de los cuestionarios

El uso de QuestionnairesTracking representa una metodología innovadora para la investigación en realidad virtual, abriendo nuevas posibilidades para estudios más interactivos. Esto puede conducir a descubrimientos novedosos en el campo de estudio. Estas razones destacan la importancia de elegir QuestionnairesTracking para el desarrollo de estudios en realidad virtual, proporcionando una plataforma eficiente para la recopilación y análisis de datos de cuestionarios.

6 RESULTADOS

Este capítulo está enfocado en el estudio de la escena QuestionnairesTracking de la herramienta, del laboratorio alemán iXperience[2], VRSTK[1]. Se va a analizar la escena, entrando en detalle en los tipos de cuestionarios que utiliza y las plantillas por defecto que contiene, también se va a estudiar la forma de exportación de datos que presenta, con un ejemplo real.

6.1 QuestionnairesTracking

Cuando se inicia en Unity el proyecto VRSTK-1.0.0 y arrancamos la escena, nos encontramos con el entorno representado en la ilustración 6-1, básicamente es un entorno muy sencillo, con un plano, cinco cubos de decoración y la propia pantalla donde se hacen los cuestionarios.



Ilustración 6-2: Escena QuestionnaireTracking

En primer lugar, se va a analizar los mandos de control que se van a utilizar. En este proyecto hay dos mandos, `LeftHandController` y `RightHandController`, ambos utilizan el `Script ActionBasedController` que es un script del `XR Interaction Toolkit`, paquete de Unity que hemos debido implementar, como según se indica en las instrucciones del repositorio web[1]. Básicamente lo que hace este Script es la implementación de un mando de control basado en acciones en Unity. Este archivo permite interpretar los valores de características en un dispositivo de entrada rastreado, utilizando acciones del Sistema de Entrada (`Input System`) en estados de interacción XR, como Selección. Es decir, es el Script que nos va a permitir seleccionar objetos dentro de la escena.

Es importante destacar la forma de los mandos de control, tanto el `LefthandController` como el `RightHandController` tienen la misma, esta forma es la que se muestra en la ilustración 6-3.

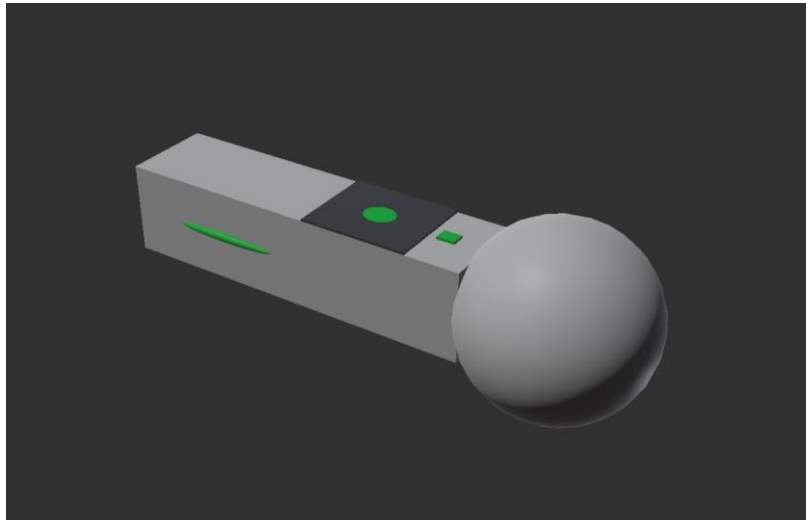


Ilustración 6-4: HandController

Es importante considerar cuidadosamente que, al iniciar la escena del cuestionario, es necesario seleccionar el botón *Next*, indicado en la ilustración 6-5 con un recuadro amarillo, utilizando exclusivamente el mando izquierdo. Este requisito es fundamental para avanzar hacia la siguiente página del cuestionario. Los programadores han establecido específicamente que la orden de selección esté asociada únicamente al mando izquierdo para este propósito. En contraste, el mando derecho no tiene asociado las interacciones necesarias para efectuar el cambio de página. Esta distinción resulta esencial para el progreso adecuado dentro del cuestionario.

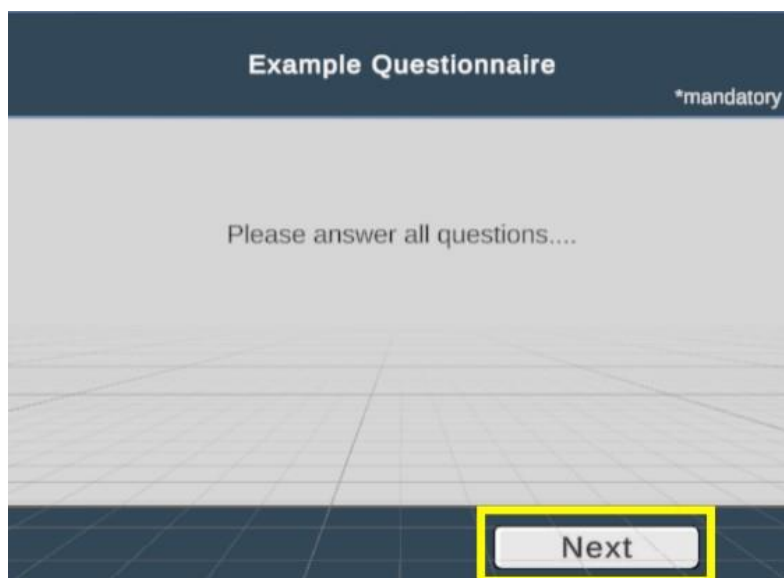


Ilustración 6-6: Página inicio Cuestionario 1

Cabe destacar que la escena es muy simple, ya que se trata de una plantilla. Por lo contrario, se le pueden añadir múltiples funcionalidades, y decoraciones que le den un aspecto más realístico, dependiendo de lo que el investigador quiera. Además de la decoración como se ha comentado antes, hay una pantalla donde se representan los cuestionarios, estos utilizan un toolkit aparte con plantillas de cuestionarios propios, el VRQuestionnaireToolkit[42].

6.2 VRQuestionnaireToolkit

La escena implementa la herramienta Virtual Reality Questionnaire Toolkit, como se ha comentado previamente los cuestionarios que contiene la escena QuestionnaireTracking son de este toolkit.

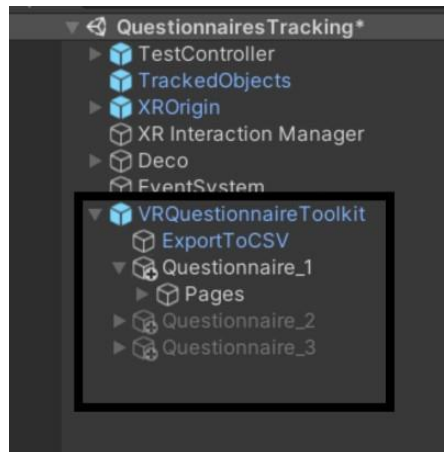


Ilustración 6-7: VRQuestionnaireToolkit

Básicamente el VRQuestionnaireToolkit es una herramienta desarrollada para facilitar la recopilación de datos subjetivos dentro de entornos de realidad virtual. Su propósito principal es permitir a la comunidad investigadora implementar cuestionarios de manera sencilla y efectiva dentro de proyectos de realidad virtual. Esta herramienta representa un conjunto de recursos de código abierto altamente adaptable y reutilizable, diseñado para integrarse rápidamente en aplicaciones de realidad virtual existentes[42].

Una de las características destacadas del VRQuestionnaireToolkit es su capacidad para reducir significativamente el tiempo y el coste asociado con la implementación de cuestionarios pre-, entre- y post-estudio. Al proporcionar un conjunto preinstalado de cuestionarios estándar, como el NASA TLX, SSQ y el cuestionario de Presencia SUS, el VRQuestionnaireToolkit elimina la necesidad de crear estos cuestionarios desde cero, lo que acelera el proceso de investigación y reduce la carga de trabajo para los investigadores[42].

Además de los cuestionarios predefinidos, el VRQuestionnaireToolkit ofrece una amplia gama de opciones de personalización. Los investigadores pueden ajustar los cuestionarios según sus necesidades específicas, agregar nuevas preguntas o incluso crear cuestionarios completamente nuevos utilizando las herramientas proporcionadas, como se ha utilizado en esta escena, donde el cuestionario es un ejemplo donde se hacen preguntas sobre realidad virtual.

En contexto el VRQuestionnaireToolkit se desarrolló utilizando Unity3D y C#, lo que garantiza su compatibilidad con el sistema HTC Vive de Valve. Para trabajar con este sistema, la herramienta requiere SteamVR y la utilidad de entrada de Vive. Se proporciona un archivo unitypackage que simplifica el proceso de integración del VRQuestionnaireToolkit en proyectos existentes mediante la función de Arrastrar y Soltar, lo que facilita aún más su implementación para los desarrolladores[42].

En cuanto a su arquitectura, el VRQuestionnaireToolkit se basa en archivos .json para describir la estructura de los cuestionarios. Durante la ejecución, la herramienta genera automáticamente todos los componentes necesarios en función de estos archivos .json. Cada cuestionario está compuesto por páginas que contienen hasta tres preguntas del mismo tipo. Los investigadores tienen la capacidad de activar o desactivar estos cuestionarios según sea necesario, lo que les permite recopilar datos subjetivos entre las diferentes condiciones de estudio[42].

6.2.1 Cuestionarios NASA TLX, SSQ y el cuestionario de Presencia SUS

El toolkit que hemos presentado anteriormente incluye una variedad de cuestionarios con diferentes tipos de preguntas. Estos cuestionarios proporcionan la base sobre la cual se estructuran las preguntas que se realizan dentro de la escena de realidad virtual. Cada tipo de cuestionario tiene su propio conjunto de preguntas diseñadas específicamente para recopilar datos subjetivos relevantes para el estudio en cuestión.

6.2.1.1 NASA TLX

El NASA TLX[46] es un procedimiento de valoración multidimensional que da una puntuación global de la carga de trabajo, está basado en una media ponderada de las puntuaciones en seis subescalas, cuyo contenido es el resultado de la investigación dirigida a aislar de forma empírica los factores que son de relevancia en la experiencia[47].

La hipótesis de partida es que la carga de trabajo no puede definirse solo por las exigencias de la tarea, sino que resulta de una combinación de factores, destacando la percepción subjetiva de la carga. Un problema es que las personas pueden interpretar la carga de trabajo de diferentes maneras: algunas pueden atribuirla al ritmo, otras a la cantidad o la complejidad de la tarea, etc. El método de la NASA aborda esto definiendo las fuentes de carga y valorándolas[47].

La aplicación de este cuestionario se lleva a cabo en dos fases.

1. Fase de Ponderación. Se lleva a cabo antes de la ejecución de la tarea. En esta fase, los sujetos evalúan y los factores que contribuyen a la carga de trabajo.
2. Fase de Puntuación. Se realiza inmediatamente después de la ejecución de la tarea. Aquí, los sujetos puntúan la carga de trabajo experimentada.

Se parte de la idea de que las fuentes específicas de carga impuesta por las diferentes tareas determinan la experiencia subjetiva de carga. Por eso, los sujetos deben ponderar los seis factores que contribuyen a la carga en cada tarea o subtarea específica. El objetivo de esta fase es definir claramente las fuentes de carga[47]. Esta definición de cargas consiste en presentar a las personas las definiciones de cada una de las dimensiones a fin de que las comparen por pares (comparaciones binarias) y elijan para cada par, cuál es el elemento que se percibe como una mayor fuente de carga. A partir de estas elecciones se obtiene un peso para cada dimensión, en función del número de veces que ha sido elegido[47].

La técnica NASA-TLX distingue las seis dimensiones de carga mental siguientes:

- Esfuerzo. Grado de esfuerzo mental y físico que tiene que realizar el sujeto para obtener su nivel de rendimiento[48].
- Demanda mental. Cantidad de actividad mental y perceptiva que requiere la tarea (pensar, decidir, calcular, recordar, mirar, buscar, etc.) [48].
- Demanda física. Cantidad de actividad física que requiere la tarea (pulsar, empujar, girar, etc.).
- Demanda temporal. Nivel de presión temporal sentida. Razón entre el tiempo requerido y el disponible[48].
- Rendimiento. Hasta qué punto el individuo se siente satisfecho con su nivel de rendimiento[48].
- Nivel de Frustración. Hasta qué punto el sujeto se siente inseguro, estresado, irritado, descontento, etc. durante la realización de la tarea[48].

Estos pesos pueden tomar valores entre 0 (para la dimensión que no ha sido elegida en ninguna ocasión y por tanto no se considera relevante) y 5 (para la dimensión que siempre ha sido elegida y por tanto se considera que es la fuente de carga más importante). El mismo conjunto de pesos puede utilizarse para variaciones de una misma tarea o para un grupo de subtareas.

Además, los pesos dan información diagnóstica acerca de la naturaleza de la carga de trabajo impuesta por la tarea ya que proporcionan datos acerca dos fuentes de variabilidad interpersonal. Las diferencias interpersonales en la definición de carga de trabajo, en cada tarea considerada[47]. Y las diferencias en las

fuentes de carga de trabajo entre distintas tareas. El segundo requisito es adjudicar un valor para cada factor, que representa la magnitud de cada factor en una tarea determinada. En esta fase de puntuación, las personas valoran la tarea o subtarea que acaban de realizar en cada una de las dimensiones, marcando un punto en la escala que se les presenta[47].

En el primer cuestionario de la escena (Questionnaire_1), es decir, el cuestionario que se centra este proyecto, podemos encontrar el NASA TLX en las páginas 6 y 7. Como se muestra a continuación cada factor se presenta en una línea dividida en 20, y dependiendo de lo que estemos evaluando habrá distintos intervalos iguales (puntuación que es reconvertida a una escala sobre 100) y limitada bipolarmente por unos descriptores en este caso elevado/bajo.

Ilustración 6-8: NASA-TLX Cuestionario 1 Page 6

Ilustración 6-9: NASA-TLX Cuestionario 1 Page 7

6.2.1.2 SSQ

En investigaciones de realidad virtual los sujetos expuestos a realizar experimentos pueden sentir síntomas desagradables como náusea, desorientación, dolor de cabeza o, en casos extremos, vómitos[49]. A este conjunto de síntomas se le conoce como cybersickness, el cual se debe, probablemente, a conflictos sensoriales entre estímulos visuales y de movimiento en los entornos virtuales que no se corresponden con el entorno real. Uno de los potenciales peligros de este efecto es que puede desarrollarse durante la exposición, después de horas o incluso días. Bajo estas circunstancias se hace necesario tener un instrumento que pueda evaluar estos aspectos, siendo el Simulator Sickness Questionnaire (SSQ) una herramienta ampliamente utilizada en investigaciones sobre cybersickness[50].

El Cuestionario de Mareo en Simuladores (SSQ), diseñado como una mejora del cuestionario de mareo en Movimiento de Pensacola (MSQ) para simuladores basados en ordenadores, solicita a los participantes que proporcionen calificaciones subjetivas de la gravedad de 16 síntomas en una escala del 0 (sin percepción) al 3 (percepción severa) después de la exposición. Las calificaciones para los síntomas individuales se agrupan en tres categorías que representan síntomas de náuseas (N), trastornos oculomotores (O) y desorientación (D). La puntuación de cada categoría se define como la suma de las puntuaciones de sus síntomas multiplicadas por un factor de escala constante. Además, se puede calcular un puntaje total de mareo en simuladores, combinando las tres subescalas de manera similar[51].

En general, puntuaciones más altas en cada escala indican percepciones más fuertes de los síntomas de mareo y, por lo tanto, son indeseadas. Basado en una gran muestra de datos del SSQ recopilados de pilotos militares[52], se sugiere que las puntuaciones totales pueden asociarse con síntomas negligibles (< 5), mínimos (5 - 10), significativos (10 - 15) y preocupantes (15 - 20). Se considera que un simulador que resulta en puntuaciones totales por encima de 20 es "malo". Umbrales similares pueden asumirse para las subescalas de náuseas, trastornos oculomotores y desorientación, ya que los factores de escala fueron elegidos para producir escalas con variabilidades similares[51].

Aunque en el Questionnaire_1 no este implícitamente implementado el SSQ, si está implementado en el VRQuestionnaireToolkit[42].

6.2.1.3 SUS

SUS Presence Questionnaire es un cuestionario diseñado para evaluar la sensación de presencia experimentada por un individuo dentro de un entorno de realidad virtual. Fue desarrollado por Slater y Usoh en múltiples estudios. El cuestionario Slater-Usoh-Steed se basa en preguntas que son variaciones de uno de los tres temas: el sentido de estar en el entorno virtual, el grado en que el entorno virtual se convierte en la realidad dominante, y el grado en que el entorno virtual es recordado como un "lugar". La versión actual del cuestionario consta de seis elementos y es el segundo cuestionario de presencia más citado aplicable para entornos virtuales[53].

Un estudio de Usoh reveló que SUS no es capaz de discriminar entre la presencia en un entorno virtual y la realidad física[53]. Además, en el estudio de Sánchez-Vives y Slater se argumenta que el uso de cuestionarios causa una circularidad metodológica ya que encuestar sobre la presencia en realidad virtual podría generar el fenómeno de presencia que se supone que el cuestionario está midiendo[54].

En conclusión, es una herramienta útil para los investigadores y diseñadores que desean evaluar la calidad de la experiencia de usuario en entornos virtuales y entender mejor la sensación de presencia experimentada por los usuarios. Sobre todo, ya que los cuestionarios subjetivos son actualmente el método más común para medir la presencia y se ha demostrado que son lo suficientemente sensibles para encontrar diferencias en la presencia [53].

En nuestro proyecto, el diseño del cuestionario se fundamenta completamente en SUS, ya que nuestra meta es usar el cuestionario virtual, evitando la necesidad de llevar a cabo el cuestionario de forma física fuera del entorno de realidad virtual.

6.3 Exportación de datos

En la escena `QuestionnaireTracking` nos encontramos con unos de sus elementos más importantes que es el archivo `ExportToCSV`, que es un script implementado dentro del `VRQuestionnaireToolkit`, que básicamente tiene la función de exportar los resultados de un cuestionario virtual a un archivo CSV o TXT, así como enviar los resultados a un servidor remoto si es necesario.

Un archivo CSV es tipo de archivo de texto plano que se utiliza comúnmente para almacenar datos tabulares de forma estructurada. En un archivo CSV, cada línea representa una fila de datos y los valores de cada columna están separados por un carácter delimitador, típicamente una coma (,), punto y coma (;), o tabulación. Este formato es normalmente utilizado en aplicaciones que manejan grandes conjuntos de datos, como hojas de cálculo, bases de datos y software de análisis estadístico.

Por otro lado, también existe la posibilidad de exportar los datos a un TXT, un archivo de texto simple es un archivo que contiene únicamente texto sin ningún formato especial, como negritas, cursivas o tablas. Puede contener cualquier tipo de información legible por humanos, como texto sin formato, código fuente, configuraciones de archivos, etc. Los archivos TXT son simples, y se pueden abrir y editar fácilmente con cualquier editor de texto básico.

Cabe destacar que el script permite configurar varios parámetros necesarios para la exportación de resultados, como el nombre del archivo, el tipo de delimitador a utilizar (por ejemplo, coma o tabulación), el tipo de archivo (CSV o TXT) y opciones para guardar los resultados localmente en el dispositivo o enviarlos a un servidor remoto. Si el objetivo es enviarlos a un servidor remoto, entonces una vez que los resultados estén almacenados localmente, puedes usar el script para enviar esos datos al servidor remoto. El script ya incluye la funcionalidad para enviar datos a un servidor mediante una solicitud HTTP. Los métodos `WriteToLocal()` y `SendToServer()` se encargan de estas operaciones, respectivamente.

6.3.1 Ejemplo real de exportación de datos

Se ha llevado a cabo una prueba práctica donde exportamos datos a un archivo CSV, específicamente a un formato compatible con Excel. Para hacerlo, conectamos nuestros cascos Meta Quest 2 al ordenador utilizando el Meta Quest Link, lo que nos permitió utilizarlos con el software en el ordenador.

Una vez conectadas, se ejecuta la escena '`QuestionnaireTracking`' después de haber depurado todos los errores previos. Dentro de esta escena, se ejecuta el cuestionario "`Questionnaire_1`", el cual contiene preguntas en inglés. Una vez que los participantes completaron el cuestionario, se exportan las respuestas a un archivo CSV.

6.3.1.1 Análisis de los datos exportados

Se han hecho dos casuísticas, primero se extrae solo los datos de un simple participante en un cuestionario, y posteriormente se ha realizado la exportación de los datos de varios participantes en un mismo archivo.

QuestionType	Question	QuestionID	Answer
radio	UIST is an amazing conference	q1	3
radio	VR is a beautiful research tool	q2	4
radio	Happiness is the key to success	q3	4
radio	Debugging is awesome	q4	5
radio	I like fixing bugs	q5	5

radio	I would use the VRQuestionnaireToolkit	q6	6
radioGrid	Hololens_The system was easy to use	q7	4
radioGrid	Oculus Rift_The system was easy to use	q7	4
radioGrid	Vive_The system was easy to use	q7	5
radioGrid	Magic Leap_The system was easy to use	q7	1
radioGrid	Hololens_The system was easy to use	q8	4
radioGrid	Oculus Rift_The system was easy to use	q8	5
radioGrid	Vive_The system was easy to use	q8	6
radioGrid	Magic Leap_The system was easy to use	q8	5
checkbox	If you don't use VR frequently, what is keeping you from adopting this? -	q9	
checkbox	If you don't use VR frequently, what is keeping you from adopting this? -	q9	1
checkbox	If you don't use VR frequently, what is keeping you from adopting this? -	q9	1
checkbox	If you don't use VR frequently, what is keeping you from adopting this? -	q9	
checkbox	If you don't use VR frequently, what is keeping you from adopting this? -	q9	1
checkbox	If you don't use VR frequently, what is keeping you from adopting this? -	q9	
linearSlider	Temporal Demand: How hurried or rushed was the pace of the task?	s1	1

linearSlider	Physical Demand: How physically demanding was the task?	s2	8
linearSlider	Mental Demand: How mentally demanding was the task?	s3	13
linearGrid	Mental Demand: How mentally demanding was the task?	s4	13
linearGrid	Physical Demand: How physically demanding was the task?	s5	13
linearGrid	Temporal Demand: How hurried or rushed was the pace of the task?	s6	16
dropdown	Demanding	d1	1
dropdown	Mental	d2	1
dropdown	Physical	d3	2

Tabla 6-1: Excel de resultados

Los datos de esta tabla han sido extraídos literalmente del archivo csv. El script ExportToCsv, clasifica los datos según el tipo de pregunta, la propia pregunta, el ID de la pregunta y la respuesta.

En este cuestionario de esta escena del VRSTK, tenemos varios tipos de preguntas, como se puede apreciar en la tabla de datos extraídos del experimento. Los tipos de preguntas que vamos a tener a nuestra disposición son del tipo Radio, LinearGrid, RadioGrid, CheckBox, Slider y Dropdown.

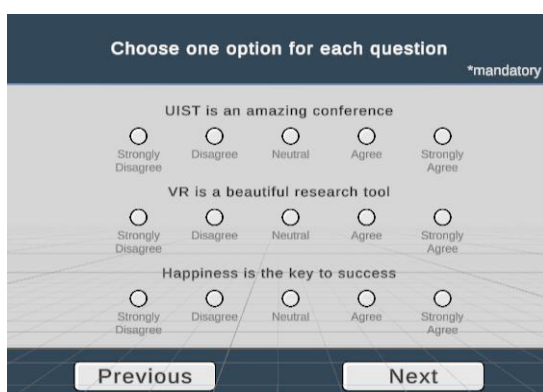


Ilustración 6-11: Cuestionario tipo Radio

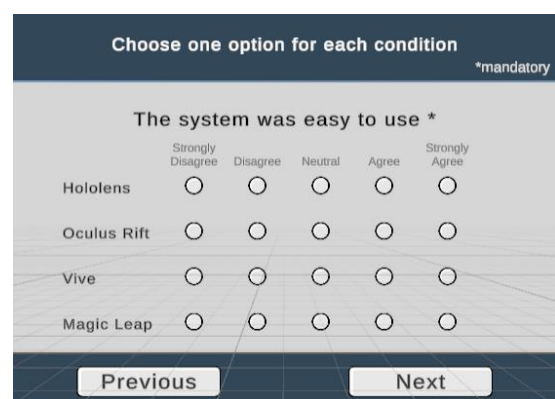


Ilustración 6-10: Cuestionario tipo Radio

Choose all options that apply *mandatory

If you don't use VR frequently, what is keeping you from adopting this?

- It's too expensive
- The technology isn't that good yet
- There is not enough content and/or games
- I don't like wearing the headset
- The experience isn't immersive enough
- The experience isn't better than traditional gaming

Previous Next

Ilustración 6-13: Cuestionario tipo CheckBox

Choose the most suitable position. *mandatory

Temporal Demand: How hurried or rushed was the pace of the task?
Low High

Physical Demand: How physically demanding was the task?
Low High

Mental Demand: How mentally demanding was the task?
Low High

Previous Next

Ilustración 6-9: Cuestionario tipo Slider

Please rate all measures by clicking a point on the scale. *mandatory

Mental Demand: How mentally demanding was the task? *
Low High

Physical Demand: How physically demanding was the task?
Low High

Temporal Demand: How hurried or rushed was the pace of the task?
Low High

Previous Next

Ilustración 6-15: Cuestionario tipo LinearRadio

Please select the correct answer *mandatory

Demanding
Yes

Mental
Yes

Physical
Yes

Previous Next

Ilustración 6-14: Cuestionario tipo Dropdown

- **Radio.** Este tipo de pregunta presenta varias opciones de respuesta, pero solo se puede seleccionar una opción a la vez. Es como elegir una opción en un botón de radio en un formulario en línea.
- **LinearGrid.** En este tipo de pregunta, las opciones de respuesta están dispuestas en una línea o una fila, y el encuestado puede seleccionar una o más opciones según corresponda.
- **RadioGrid.** Similar al tipo Radio, pero las opciones de respuesta están dispuestas en una cuadrícula o matriz. El encuestado puede seleccionar una opción de cada fila o columna, dependiendo de cómo esté configurada la pregunta.
- **CheckBox.** Este tipo de pregunta presenta varias opciones de respuesta y permite al encuestado seleccionar múltiples opciones a la vez. Es como marcar varias casillas en un formulario en línea.
- **Slider.** En este tipo de pregunta, se presenta una escala numérica o visual, y el encuestado puede seleccionar una posición en esa escala para indicar su respuesta.
- **Dropdown.** Esta pregunta presenta varias opciones de respuesta en un menú desplegable. El encuestado puede seleccionar una opción de la lista desplegable. Es como elegir una opción de un menú en un formulario en línea.

El proceso de exportar los datos del cuestionario desde el entorno virtual ofrece una integración fluida con la dinámica del experimento. Cada tipo de pregunta ya sea Radio, LinearGrid, RadioGrid, CheckBox, Slider o Dropdown, se identifica con un ID único y recibe una respuesta correspondiente. Esta asociación entre el tipo de pregunta, su ID y la respuesta obtenida permite un posterior análisis preciso.

Este proceso virtual resulta especialmente eficaz ya que, al realizar el cuestionario dentro del entorno virtual, se optimiza el tiempo y se minimiza la carga cognitiva para los participantes. No es necesario salir del entorno de la tarea experimental para completar el cuestionario, lo que ayuda a mantener la concentración y la coherencia en la experiencia del usuario. Además, el hecho de extraer los datos directamente del cuestionario online proporciona una manera eficiente y útil de evaluar al participante. No solo se simplifica el proceso de recopilación de datos, sino que también se mejora su utilidad al vincularlos de manera directa e inmediata con la sesión experimental en curso. Este enfoque integral permite una interpretación más precisa y una toma de decisiones fundamentada basada en los resultados obtenidos.

6.4 Posibles casos de uso

Como aportación personal, una de las mayores ventajas de utilizar la escena QuestionnairesTracking son los múltiples casos de uso en el contexto de realidad virtual.

En investigación académica.

- Estudios psicológicos. Realizar estudios sobre comportamiento y respuestas emocionales en entornos controlados utilizando cuestionarios[55].
- Ciencias sociales. Evaluar opiniones sobre escenarios sociales simulados[56].

En el campo de la educación.

- Evaluación de las clases. Recopilar opiniones de estudiantes sobre la efectividad de las clases y simulaciones en realidad virtual.

En la medicina.

- Terapia virtual. Evaluar la efectividad de terapias basadas en realidad virtual mediante cuestionarios pre y post sesión[57].
- Simulaciones médicas. Obtener feedback de profesionales de la salud sobre simulaciones médicas para mejorar su realismo y efectividad[58].

En la ingeniería.

- Obtener feedback sobre prototipos de productos y maquetas virtuales antes de la producción[59].

Estos casos de uso destacan la versatilidad de QuestionnairesTracking en una amplia gama de aplicaciones, facilitando la recopilación de datos y mejorando la toma de decisiones en diversos campos.

7 CONCLUSIONES Y LÍNEAS FUTURAS

Después del análisis del uso que se ha realizado a lo largo del proyecto de la herramienta Virtual Reality Scientific Toolkit para experimentos en entornos de realidad virtual, se ha llegado a una conclusión firme.

7.1 Conclusión y líneas futuras

Esta herramienta representa una solución versátil que está disponible para ser utilizada en una amplia variedad de aplicaciones de investigación en realidad virtual.

Esta conclusión es tomada porque a lo largo del proyecto se ha visto que es una herramienta bastante funcional para su uso en experimentos, debido a que contiene plantillas de escenas predefinidas para experimentos de alto nivel, lo cual simplifica enormemente el proceso de diseño experimental. Estas plantillas proporcionan un punto de partida adaptativo, que puede ser personalizado según las necesidades específicas de cada investigación.

En consecuencia, en los cuestionarios, la escena que se ha estudiado se destaca la gran capacidad para la evaluación postexperimental inmersiva que tiene el VRSTK. Ya que esta escena ofrece un método estructurado para la evaluación de resultados, permitiendo a los investigadores analizar de manera efectiva la información recopilada durante el experimento.

Si bien los objetivos de este proyecto se han cumplido, llegando a la conclusión que esta herramienta OpenSource del laboratorio iXperience [2] es válida para los experimentos virtuales de alto nivel, proponemos una serie de líneas futuras y mejoras a la propia herramienta.

- Mejora de la escena QuestionnairesTracking:
 - El perfeccionamiento de los entornos, modelos e interacciones de la escena, con una sensación de realidad mayor, como por ejemplo, implementado la decoración y el entorno de la escena AutomaticDataAnalysis.
 - La traducción de los Questionnaire 2 y 3, ya que aparecen en alemán.
- Implementación del VRQuestionnaireToolkit a todas las escenas del VRSTK.
- Implementación de mapas de calor automáticos a la hora de exportar los datos a través de cada escena.
- Realizar un experimento virtual real, utilizando la escena QuestionnairesTracking para evaluar la experiencia.
- Incorporar plantillas adicionales para una gama más amplia de experimentos.

7.2 Reparto de tareas

A continuación, se va a hacer un pequeño resumen del tiempo ocupado por las tareas de este proyecto:

- En primer lugar, aproximadamente el 5% del tiempo empleado en el proyecto, fue para conocer, entender y estudiar el entorno de realidad virtual Unity, aprendiendo a través de tutoriales de la propia plataforma.
- El siguiente paso fue recopilar y estudiar artículos que ayudasen a entender la realidad virtual, tanto sus orígenes como sus fundamentos, buscando artículos que explicasen la metodología de la herramienta de estudio VRSTK. Esta tarea ocupó un 20% del tiempo empleado.
- A continuación, la tarea que abarcó alrededor del 50% del tiempo total, fue entender y comprobar el funcionamiento de VRSTK con el material necesario de realidad virtual disponible en el laboratorio.
- Por último, la redacción de la memoria cubrió un 25% del total.

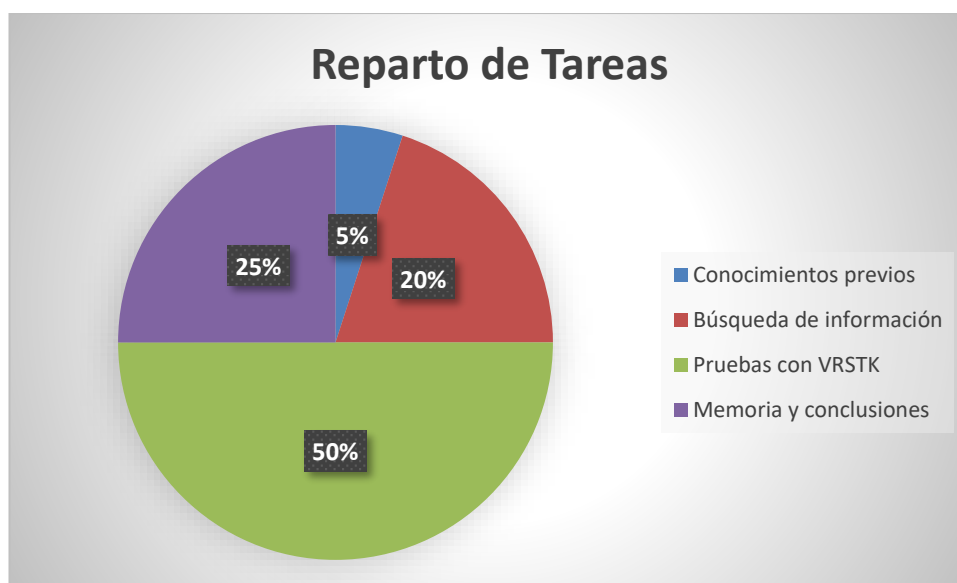


Ilustración 7-1: Diagrama de reparto de tareas

REFERENCIAS

- [1] <https://github.com/ixperience-lab/VRSTK>, “VRSTK GitHub.”
- [2] <https://github.com/ixperience-lab>, “iXperience Lab.”
- [3] M. L. Heilig, “Sensorama Simulator,” US3050870A, Aug. 28, 1962
- [4] R. Sproull and D. C. Brock, “Interview of Ivan Sutherland,” *IEEE Annals of the History of Computing*, vol. 45, no. 1, pp. 64–76, Jan. 2023, doi: 10.1109/MAHC.2023.3244258.
- [5] G. G. Robertson, S. K. Card, and J. D. Mackinlay, “Three views of virtual reality: nonimmersive virtual reality,” *Computer (Long Beach Calif)*, vol. 26, no. 2, p. 81, Feb. 1993, doi: 10.1109/2.192002.
- [6] H. Luttermann and M. Grauer, “VRML history,” in *Proceedings of the fourth symposium on Virtual reality modeling language*, New York, NY, USA: ACM, Feb. 1999, pp. 153–160. doi: 10.1145/299246.299288.
- [7] R. Stiles, S. Tewari, and M. Mehta, “Adapting VRML 2.0 for immersive use,” in *Proceedings of the second symposium on Virtual reality modeling language*, New York, NY, USA: ACM, Feb. 1997, pp. 75–81. doi: 10.1145/253437.253462.
- [8] G. Pei, Q. Shang, S. Hua, T. Li, and J. Jin, “EEG-based affective computing in virtual reality with a balancing of the computational efficiency and recognition accuracy,” *Comput Human Behav*, vol. 152, p. 108085, Mar. 2024, doi: 10.1016/j.chb.2023.108085.
- [9] M. Hu, X. Luo, J. Chen, Y. C. Lee, Y. Zhou, and D. Wu, “Virtual reality: A survey of enabling technologies and its applications in IoT,” *Journal of Network and Computer Applications*, vol. 178, p. 102970, Mar. 2021, doi: 10.1016/j.jnca.2020.102970.
- [10] A. Hamad and B. Jia, “How Virtual Reality Technology Has Changed Our Lives: An Overview of the Current and Potential Applications and Limitations,” *Int J Environ Res Public Health*, vol. 19, no. 18, p. 11278, Sep. 2022, doi: 10.3390/ijerph191811278.
- [11] A. de los Reyes-Guzmán, L. Fernández García, M. Alvarez-Rodríguez, V. Lozano-Berrio, A. M. Domingo-García, and S. Ceruelo-Abajo, “Realidad virtual de bajo coste. Una nueva aplicación para rehabilitación motora de los miembros superiores en patología neurológica: Estudio piloto,” *Rehabilitacion (Madr)*, vol. 56, no. 3, pp. 173–181, Jul. 2022, doi: 10.1016/j.rh.2021.07.001.
- [12] G. Bishop and H. Fuchs, “Research directions in virtual environments,” *ACM SIGGRAPH Computer Graphics*, vol. 26, no. 3, pp. 153–177, Aug. 1992, doi: 10.1145/142413.142416.
- [13] M. A. Gigante, “Virtual Reality: Definitions, History and Applications,” in *Virtual Reality Systems*, Elsevier, 1993, pp. 3–14. doi: 10.1016/B978-0-12-227748-1.50009-3.
- [14] C. Cruz-Neira, “Virtual reality overview,” *SIGGRAPH 93 Course Notes 21st International Conference on Computer Graphics and Interactive Techniques, Orange County Convention Center, Orlando, FL.*, 1993.
- [15] X. Wu, “A review of virtual reality technology,” *Applied and Computational Engineering*, vol. 38, no. 1, pp. 1–6, Feb. 2024, doi: 10.54254/2755-2721/38/20230521.
- [16] L. M. Amaro and J. Sieck, “Am Ende Der Welt: Shifting MR Boundaries With a Co-Located Multiplayer with Meta Quest 2,” in *2023 IEEE 12th International Conference on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems: Technology and Applications (IDAACS)*, IEEE, Sep. 2023, pp. 877–882. doi: 10.1109/IDAACS58523.2023.10348744.
- [17] J.-M. Chung, *Emerging Metaverse XR and Video Multimedia Technologies*. Apress, 2023. doi: 10.1007/978-1-4842-8928-0.

- [18] P. Sajjadi, J. Zhao, J. O. Wallgrun, P. La Femina, and A. Klippel, "Influence of HMD Type and Spatial Ability on Experiences and Learning in Place-based Education," in *2021 7th International Conference of the Immersive Learning Research Network (iLRN)*, IEEE, May 2021, pp. 1–8. doi: 10.23919/iLRN52045.2021.9459405.
- [19] L. E. Warren and D. A. Bowman, "User experience with semi-natural locomotion techniques in virtual reality," in *Proceedings of the 5th Symposium on Spatial User Interaction*, New York, NY, USA: ACM, Oct. 2017, pp. 163–163. doi: 10.1145/3131277.3134359.
- [20] P. Caserman, C. Krug, and S. Göbel, "Recognizing Full-Body Exercise Execution Errors Using the Teslasuit," *Sensors*, vol. 21, no. 24, p. 8389, Dec. 2021, doi: 10.3390/s21248389.
- [21] M. Wölfel and W. Hettmann, "Identification of Unreliable Data in in-VR Surveys using Biosignal Sensors," in *2023 International Conference on Cyberworlds (CW)*, IEEE, Oct. 2023, pp. 268–273. doi: 10.1109/CW58918.2023.00048.
- [22] E. Raymer, Á. MacDermott, and A. Akinbi, "Virtual reality forensics: Forensic analysis of Meta Quest 2," *Forensic Science International: Digital Investigation*, vol. 47, p. 301658, Dec. 2023, doi: 10.1016/j.fsidi.2023.301658.
- [23] Y. Jiugen, F. Anqi, and X. Ruonan, "Application and Model of Virtual Reality in Physical Experiment," in *2020 15th International Conference on Computer Science & Education (ICCSE)*, IEEE, Aug. 2020, pp. 239–244. doi: 10.1109/ICCSE49874.2020.9201734.
- [24] M. Weiler and J. McDonnell, "Virtual experiments: a new approach for improving process conceptualization in hillslope hydrology," *J Hydrol (Amst)*, vol. 285, no. 1–4, pp. 3–18, Jan. 2004, doi: 10.1016/S0022-1694(03)00271-3.
- [25] M. Feick, N. Kleer, A. Tang, and A. Krüger, "The Virtual Reality Questionnaire Toolkit," in *Adjunct Publication of the 33rd Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology*, New York, NY, USA: ACM, Oct. 2020, pp. 68–69. doi: 10.1145/3379350.3416188.
- [26] D. Alexandrovsky *et al.*, "Examining Design Choices of Questionnaires in VR User Studies," in *Proceedings of the 2020 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, New York, NY, USA: ACM, Apr. 2020, pp. 1–21. doi: 10.1145/3313831.3376260.
- [27] H. Kang, G. Lee, S. Kwon, O. Kwon, S. Kim, and J. Han, "Flotation Simulation in a Cable-driven Virtual Environment -- A Study with Parasailing," in *Proceedings of the 2018 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, New York, NY, USA: ACM, Apr. 2018, pp. 1–11. doi: 10.1145/3173574.3174206.
- [28] C. Wienrich, K. Schindler, N. Dollinger, S. Kock, and O. Traupe, "Social Presence and Cooperation in Large-Scale Multi-User Virtual Reality - The Relevance of Social Interdependence for Location-Based Environments," in *2018 IEEE Conference on Virtual Reality and 3D User Interfaces (VR)*, IEEE, Mar. 2018, pp. 207–214. doi: 10.1109/VR.2018.8446575.
- [29] S. Putze, D. Alexandrovsky, F. Putze, S. Höffner, J. D. Smeddinck, and R. Malaka, "Breaking The Experience: Effects of Questionnaires in VR User Studies," in *Proceedings of the 2020 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, New York, NY, USA: ACM, Apr. 2020, pp. 1–15. doi: 10.1145/3313831.3376144.
- [30] John K Haas, "A History of the Unity Game Engine," Mar. 2014.
- [31] Unity, "Unity Hub."
- [32] G. J. Díaz, "Tutorial Unity: El paseo del astronauta ¿Qué es Unity?" [Online]. Available: <http://gaia.fdi.ucm.es/files/people/guille/tallerUnity2015/GitHub:https://github.com/GuilleUCM/TallerUnityAutor:GuillermoJiménezDíaz>
- [33] Guzmán Monar OW, Vega Merchán JP, and Ulloa Meneses LJ, "Desarrollo e implementación de aplicación de realidad virtual como soporte a la enseñanza del sistema óseo," *Mikarimin*, Apr. 2023, Accessed: Jun. 01, 2024. [Online]. Available: <https://revista.uniandes.edu.ec/ojs/index.php/mikarimin/article/view/3180>

- [34] J. Brookes, M. Warburton, M. Alghadier, M. Mon-Williams, and F. Mushtaq, "Studying human behavior with virtual reality: The Unity Experiment Framework," *Behav Res Methods*, vol. 52, no. 2, pp. 455–463, Apr. 2020, doi: 10.3758/s13428-019-01242-0.
- [35] J. Zhang and J. Juvrud, "Gender expression and gender identity in virtual reality: avatars, role-adoption, and social interaction in VRChat," *Front Virtual Real*, vol. 5, Feb. 2024, doi: 10.3389/frvir.2024.1305758.
- [36] M. Vasser *et al.*, "VREX: an open-source toolbox for creating 3D virtual reality experiments," *BMC Psychol*, vol. 5, no. 1, p. 4, Dec. 2017, doi: 10.1186/s40359-017-0173-4.
- [37] M. Wolfel, D. Hepperle, C. F. Purps, J. Deuchler, and W. Hettmann, "Entering a new Dimension in Virtual Reality Research: An Overview of Existing Toolkits, their Features and Challenges," in *2021 International Conference on Cyberworlds (CW)*, IEEE, Sep. 2021, pp. 180–187. doi: 10.1109/CW52790.2021.00038.
- [38] P. Ugwitz, A. Šašinková, Č. Šašinka, Z. Stachoň, and V. Juřík, "Toggle toolkit: A tool for conducting experiments in unity virtual environments," *Behav Res Methods*, vol. 53, no. 4, pp. 1581–1591, Aug. 2021, doi: 10.3758/s13428-020-01510-4.
- [39] J. Grübel, R. Weibel, M. H. Jiang, C. Hölscher, D. A. Hackman, and V. R. Schinazi, "EVE: A Framework for Experiments in Virtual Environments," 2017, pp. 159–176. doi: 10.1007/978-3-319-68189-4_10.
- [40] J. Deuchler, W. Hettmann, D. Hepperle, and M. Wölfel, "Streamlining Physiological Observations in Immersive Virtual Reality Studies with the Virtual Reality Scientific Toolkit," in *2023 IEEE Conference on Virtual Reality and 3D User Interfaces Abstracts and Workshops (VRW)*, IEEE, Mar. 2023, pp. 485–488. doi: 10.1109/VRW58643.2023.00105.
- [41] S. Sukaridhoto, E. D. Fajrianti, A. L. Haz, R. P. N. Budiarti, and L. Agustien, "Implementation of Virtual Fiber Optic Module Using Virtual Reality for Vocational Telecommunications Students," *JOIV: International Journal on Informatics Visualization*, vol. 7, no. 2, p. 356, May 2023, doi: 10.30630/joiv.7.2.1361.
- [42] M. Feick, N. Kleer, A. Tang, and A. Krüger, "The Virtual Reality Questionnaire Toolkit," in *Adjunct Publication of the 33rd Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology*, New York, NY, USA: ACM, Oct. 2020, pp. 68–69. doi: 10.1145/3379350.3416188.
- [43] J. Deuchler, D. Hepperle, and M. Wolfel, "Asymmetric Normalization in Social Virtual Reality Studies," in *2022 IEEE Conference on Virtual Reality and 3D User Interfaces Abstracts and Workshops (VRW)*, IEEE, Mar. 2022, pp. 51–53. doi: 10.1109/VRW55335.2022.00019.
- [44] <https://www.khronos.org/openxr/>, "The Khronos Group."
- [45] J. Filipe, A. Ghosh, R. O. Prates, and L. Zhou, "Communications in Computer and Information Science 1498 Editorial Board Members." [Online]. Available: <http://www.springer.com/series/7899>
- [46] S. G. Hart and L. E. Staveland, "Development of NASA-TLX (Task Load Index): Results of Empirical and Theoretical Research," 1988, pp. 139–183. doi: 10.1016/S0166-4115(08)62386-9.
- [47] I. De Arquer and C. Nogareda, "Estimación de la carga mental de trabajo: el método NASA TLX. NTP 544," *Madrid: INSHT*, 1999.
- [48] D. R. EVA, R. V. SUSANA, M. G. JESUS, and L. M. LOURDES, "Estudio Psicométrico del Índice de Carga Mental NASA-TLX con una Muestra de Trabajadores Españoles," *Revista de Psicología del Trabajo y de las Organizaciones*, vol. 26, no. 3, pp. 191–199, 2010, doi: 10.5093/tr2010v26n3a3.
- [49] B. Guerrero, C. Luis, V. Aguayo, * Correspondencia, and : Luis, "Efectos secundarios tras el uso de realidad virtual inmersiva en un videojuego," 2013. [Online]. Available: <http://www>.
- [50] P. Campo-Prieto, G. Rodríguez-Fuentes, and J. M. Cancela Carral, "Traducción y adaptación transcultural al español del Simulator Sickness Questionnaire (Translation and cross-cultural adaptation to Spanish of the Simulator Sickness Questionnaire)," *Retos*, vol. 43, pp. 503–509, Aug. 2021, doi: 10.47197/retos.v43i0.87605.

-
- [51] P. Bimberg, T. Weissker, and A. Kulik, "On the Usage of the Simulator Sickness Questionnaire for Virtual Reality Research," in *2020 IEEE Conference on Virtual Reality and 3D User Interfaces Abstracts and Workshops (VRW)*, IEEE, Mar. 2020, pp. 464–467. doi: 10.1109/VRW50115.2020.00098.
- [52] S. A. Balk, M. A. Bertola, and V. W. Inman, "Simulator Sickness Questionnaire: Twenty Years Later," in *Proceedings of the 7th International Driving Symposium on Human Factors in Driver Assessment, Training, and Vehicle Design: driving assessment 2013*, Iowa City, Iowa: University of Iowa, Oct. 2013, pp. 257–263. doi: 10.17077/drivingassessment.1498.
- [53] V. Schwind, P. Knierim, N. Haas, and N. Henze, "Using Presence Questionnaires in Virtual Reality," in *Proceedings of the 2019 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, New York, NY, USA: ACM, May 2019, pp. 1–12. doi: 10.1145/3290605.3300590.
- [54] M. V. Sanchez-Vives and M. Slater, "From presence to consciousness through virtual reality," *Nat Rev Neurosci*, vol. 6, no. 4, pp. 332–339, Apr. 2005, doi: 10.1038/nrn1651.
- [55] M. Psicósomática *et al.*, "ARTÍCULO CUADERNOS DE Realidad Virtual y Tratamientos Psicológicos Virtual Reality and Psychological Treatments."
- [56] L. Aymerich-Franch, "La realidad virtual como herramienta de estudio de fenómenos psicológicos y sociales," *Orbis. Revista Científica Ciencias Humanas*, vol. 8, no. 24, pp. 102–115, 2013, [Online]. Available: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=70926716007>
- [57] R. Muñoz Boje and I. Calvo-Muñoz, "Efectos de la terapia de realidad virtual en el miembro superior en pacientes con ictus: revisión sistemática," *Rehabilitacion (Madr)*, vol. 52, no. 1, pp. 45–54, Jan. 2018, doi: 10.1016/j.rh.2017.09.001.
- [58] J. L. Palés Argullós, "El uso de las simulaciones en educación médica," *Teoría de la educación: educación y cultura en la sociedad de la información. 2010, v. 11, n. 2, julio; p. 147-169*, 2010, [Online]. Available: <http://hdl.handle.net/11162/77653>
- [59] "Realidad virtual como buena práctica para trabajo en equipo con estudiantes de ingeniería," *RISTI - Revista Ibérica de Sistemas e Tecnologías de Informação*, Dec. 2015, doi: 10.17013/risti.16.76-91.