



**SUMERGIÉNDOSE EN LA IDENTIDAD VIRTUAL:
EXPLORANDO EL AUMENTO DEL *VIRTUAL*
EMBODIMENT A TRAVÉS DE LA NARRATIVA**

CONVOCATORIA: EXTRAORDINARIA

ALUMNO / A: ALEJANDRO GARCÍA CANCER

TUTOR / A: Dr^a. LAURA RAYA GONZÁLEZ

GRADO: INGENIERÍA DEL SOFTWARE

RESUMEN

Este proyecto se centra en la exploración de la relación entre el concepto del *virtual embodiment* y la narrativa en experiencias de realidad virtual. El objetivo principal ha sido entender los conceptos de *virtual embodiment* y *self-presence*, investigar cómo la narrativa inmersiva puede influir en la sensación de encarnación en los usuarios y comprobar esto a través de una prueba experimental.

Para alcanzar este objetivo, se ha llevado a cabo el estudio de diferentes investigaciones previas y se ha planteado un experimento compuesto de dos experiencias desde cero de realidad virtual, una centrada en la potenciación de la narrativa inmersiva para la identificación del usuario con el personaje y otra con la narrativa habitual. La construcción del experimento ha requerido el diseño y construcción de dos experiencias inmersivas a modo juego, completas y funcionales, que constituyan la base de las pruebas.

Se han realizado pruebas a más de 40 sujetos. Los resultados obtenidos proporcionan una primera visión sobre la hipótesis inicial y destacan la importancia de la narrativa en la creación de una experiencia inmersiva más envolvente y emocional para los usuarios de realidad virtual. En trabajos futuros, será necesario aumentar el número de sujetos y evaluar si esta diferencia es estadísticamente significativa entre ambas propuestas, con el objetivo de concluir con evidencia sólida la influencia de la narrativa en la identificación del jugador con su avatar.

ABSTRACT

This project focuses on exploring the relationship between the concept of virtual embodiment and narrative in virtual reality experiences. The main objective has been to understand the concepts of virtual embodiment and self-presence, to investigate how the immersive narrative can influence the sense of embodiment in users and to test this through an empirical test.

To achieve this goal, we have carried out the study of different previous studies and we have proposed an experiment composed of two virtual reality experiences from scratch, one focused on the empowerment of the immersive narrative for the identification of the user with the character and the other with the usual narrative. The construction of the experiment has required the design and construction of two immersive game-like experiences, complete and functional, which form the basis of the tests.

More than 40 subjects have been tested. The results obtained provide a first insight into the initial hypothesis and highlight the importance of narrative in creating a more immersive and emotional experience for virtual reality users. In future work, it will be necessary to increase the number of subjects and evaluate whether this difference is statistically significant between the two proposals, in order to conclude with solid evidence the influence of narrative in the identification of the player with their avatar.

ÍNDICE

RESUMEN	4
ABSTRACT.....	5
ÍNDICE.....	6
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	7
1. INTRODUCCIÓN	9
1.1 Motivación y contexto.....	9
1.2 Planteamiento del problema.....	12
1.3 Objetivos del trabajo	14
2. ESTADO DE LA CUESTIÓN	15
2.1 Marco teórico del trabajo	15
2.2 Trabajos relacionados.....	27
3. ASPECTOS METODOLÓGICOS	31
3.1 Metodología.	31
3.2 Tecnologías empleadas	33
4. DESARROLLO DEL TRABAJO	36
4.1 Narrativa de la experiencia.....	36
4.2 Entorno virtual.....	38
4.3 Desarrollo técnico	45
4.4 Resultados de las pruebas.....	62
5. CONCLUSIONES	66
6. REFERENCIAS.....	68
6.1 Bibliografía.....	68
6.2 Webgrafía.....	69
7. ANEXOS	70
7.1 Anexo I: Cuestionario de Implicación Narrativa	70

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1: Dispositivo háptico CyberGrasp.....	16
Ilustración 2: Videojuego de Realidad Aumentada para móviles, Pokemon Go.....	17
Ilustración 3: Fotograma de la presentación del dispositivo de Realidad Mixta, Microsoft Hololens 2.	18
Ilustración 4: Imagen comparativa entre las Meta Quest 2 y las Meta Quest 3, ambos dispositivos de Realidad Virtual desarrollados por Meta.	19
Ilustración 5: Fotograma de InmesArte.	23
Ilustración 6: Paciente probando Virtual Transplant Reality.....	24
Ilustración 7: Fotograma de la aplicación de ayuda para personas con Asperger, CicerOn.....	25
Ilustración 8: Dispositivo Meta Quest 2	33
Ilustración 9: Comparación entre el inicio de las dos escenas, a la izquierda Nuestra (Con el rey hablándote), a la derecha Neutra (Pantalla en negro).	37
Ilustración 10: Distribución de la sala.	38
Ilustración 11: Mesa con la carta enrollada.	39
Ilustración 12: Papiro desde el punto de vista del jugador.	40
Ilustración 13: Dragón desde el punto de vista del jugador.....	40
Ilustración 14: Zona de las pociones.....	41
Ilustración 15: Zona del mapa.....	42
Ilustración 16: Comparativa entre las portadas del libro, a la izquierda Neutra, a la derecha Nuestra.....	42
Ilustración 17: Zona de la espada.....	43
Ilustración 18: Comparación entre las dos espadas, arriba, Neutra, abajo, Nuestra. ...	43
Ilustración 19: Componente XR Origin.....	45
Ilustración 20: Configuración del componente Teleportation Area.	46
Ilustración 21: Configuración de XR Direct Interactor.	47
Ilustración 22: Código de AnimateHandOnInput.cs.....	48
Ilustración 23: Componente XR Grab Interactable.	49
Ilustración 24: Los barriles evitan que el usuario alcance los objetos no interactivos.	50
Ilustración 25: Hay multitud de elementos interactivables en la escena.....	51
Ilustración 26: OnTriggerEnterEvent.cs	52
Ilustración 27: Parte del código de InvokeDrakeController.cs.....	53

Ilustración 28: Glifo iluminado después de la interacción.....	54
Ilustración 29: Funciones del componente BigBookController.....	55
Ilustración 30: Libro siendo abierto.....	55
Ilustración 31: Funciones de SwordController.cs.....	57
Ilustración 32: Función OnTriggerStay de GrindingWheelController.	57
Ilustración 33: Acción de afilar la espada.....	58
Ilustración 34: Objetos con Outline shader.....	59
Ilustración 35: OutlineObjectdetector.cs.	60
Ilustración 36: Zonas de las tareas destacadas.	61
Ilustración 37: Gráfica con los resultados numéricos de "Tenía la sensación de controlar el movimiento del personaje".	62
Ilustración 38: Gráfica con los resultados numéricos de "Tenía la ilusión de tener rasgos de personalidad diferentes a los míos".....	63
Ilustración 39: Gráfica con los resultados numéricos de "Durante la experiencia, sentí preocupación por la salud del rey y me sentía motivado para ayudar a curarle".....	64
Ilustración 40: Gráfica con los resultados numéricos de "Sentí que mi avatar era alguien importante para el rey o una persona influyente en el reino".	64
Ilustración 41: Gráfica con los resultados numéricos normalizados de "Durante la experiencia, no me importaba el bienestar del reino".....	65

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Motivación y contexto

El crecimiento de las tecnologías inmersivas llevado a cabo en los últimos años ha permitido su uso en una amplia gama de sectores y una variedad de aplicaciones. Dentro de las tecnologías inmersivas existentes, la realidad virtual, probablemente, ha sido la que más ha evolucionado a nivel técnico y ergonómico. Desde La espada de Damocles de Ivan Shutterland, precursora de los actuales cascos de realidad virtual creada en 1968, pasando por 2012 cuando Palmer Luckey lanzó la campaña de micromecenazgo que daría como resultado a las Oculus Rift, hasta 2023 con la presentación de las Apple Vision Pro.

De manera específica, se define realidad virtual como un conjunto de técnicas informáticas que permiten generar espacios simulados con un ordenador donde una persona, mediante el uso de un dispositivo visual inmersivo, tiene la sensación de estar y sentirse presente (M. Slater M. V.-V., 2016).

La realidad virtual es ahora un mercado consolidado y, a pesar de las idas y venidas que puedan generar ciertas modas, no ha cesado en su crecimiento desde su aparición. Según el análisis de datos de la International Data Corporation (IDC), en 2022 se adquirieron 8,8 millones de unidades de dispositivos de realidad aumentada o mixta y la inversión en este segmento del mercado fue de 13,8 mil millones de dólares (*IDC - AR & VR Headsets Market Share*, s. f.). Además, es también innegable el avance cualitativo a nivel tecnológico que han sufrido este tipo de dispositivos, tanto en hardware, con la inclusión de cámaras y sensores, el aumento a 6 grados de libertad (6DoF) o la respuesta háptica, como en software, con el avance de los algoritmos de *Simultaneous Localization And Mapping* (SLAM) utilizados en realidad mixta por bandera.

Hay dos cualidades muy diferenciales de la tecnología de realidad virtual que no se encuentran en otros medios audiovisuales: la presencia y el *virtual embodiment*. La presencia se refiere a la sensación perceptual del usuario de sentirse físicamente presente en un entorno virtual (M. Slater B. L.-V., 2009). Es una sensación medible y

diferenciable del término Inmersión. La Inmersión se refiere al medio, entorno o dispositivo mientras que la presencia se refiere a la percepción del usuario en relación con donde está. Cuando los usuarios experimentan una fuerte sensación de presencia, se olvidan de su entorno real y se sumergen por completo en el mundo virtual, pudiendo responder física y psíquicamente de forma similar a la vida real. Esto crea una experiencia envolvente y más realista en cuanto al comportamiento del sujeto, lo que aumenta el impacto de la realidad virtual en los usuarios.

Por otro lado, el *virtual embodiment* se entiende como la capacidad de que el usuario sienta que encarna físicamente el cuerpo digital que se le presenta en la experiencia virtual. A este cuerpo se le conoce como avatar. Esto implica la creación de una conexión entre la conciencia física del usuario y la representación de su cuerpo en el entorno virtual, lo que puede tener un impacto significativo en la forma en que se percibe y se interactúa con la realidad virtual (M. Slater K. K., 2012).

La principal problemática que surge en el contexto del *virtual embodiment* es la falta de una correspondencia física directa entre el cuerpo real y el cuerpo virtual. Aunque los avances en la tecnología de realidad virtual han permitido la creación de representaciones visuales y auditivas más realistas, la experiencia de la encarnación plena en un cuerpo virtual sigue siendo un desafío tanto por la teoría del valle inquietante (Hernández, 2021) en cuanto a la apariencia del avatar y la familiaridad que produce en el usuario como por la falta de retroalimentación háptica y la imposibilidad de reproducir las sensaciones físicas reales. Todo ello dificulta en gran medida la sensación de sentirse verdaderamente encarnado en un avatar.

Es en este contexto en el que se plantea el concepto de *self-presence*. Se define como la concepción del uno mismo que experimenta el usuario al encarnar un cuerpo virtual (J. O. Bailey, 2016). Esta idea permite aproximarse de manera diferente a la enfatización del *virtual embodiment*, dejando de lado la generación de sensaciones más físicas o corpóreas a través de técnicas de espejos o la generación de avatares realistas y buscando que el usuario se sumerja en su identidad virtual, alineando temporalmente sus intereses con los del personaje al que encarna.

El objetivo principal del presente Trabajo Final de Grado (TFG) es entender cómo la narrativa de la experiencia inmersiva puede influir en la sensación de encarnación en los usuarios y si a través de la narrativa y la identificación del personaje se puede mejorar la experiencia de *virtual embodiment* o *self-presence*.

Para ello, en el presente trabajo se ha planteado un estudio empírico-analítico en el que compararemos las sensaciones de los usuarios a través del diseño de dos experiencias adaptadas al objeto de estudio y analizaremos las respuestas de los participantes mediante un *test* de evaluación. Las experiencias virtuales diseñadas para la experimentación, aunque idénticas en contenido (historia, estética, método de locomoción y dinámicas), presentarán pequeños cambios en la forma, la interacción y la narrativa inmersiva, incluyendo en una de ellas el énfasis para que la narrativa esté enfocada a ayudar al usuario a identificarse con el personaje, entenderlo mejor y, consecuentemente, sentirse más cerca del avatar que representa.

Este TFG se ha realizado dentro del Grupo de Investigación CIGNVS Lab por Sergio Requena Martínez, Luis Alberto Vázquez Vega, Carlos Gessler Rodríguez y Alejandro García Cancer, además de las profesoras Laura Raya González y Cristina Ruiz Poveda.

1.2 Planteamiento del problema

La enfatización del *virtual embodiment* es uno de los campos de investigación dentro de la realidad virtual que presentan una mayor complejidad. Los límites que nos impone el mundo físico son difícilmente superables y, aunque se están realizando avances en la creación de guantes o exoesqueletos hápticos, aún distan mucho de ser lo que se busca. De igual manera, la búsqueda del hiperrealismo es uno de los objetivos de los gráficos por ordenador y los efectos visuales, donde se ha visto superar niveles de similitud de la realidad hace poco inimaginables. Sin embargo, en los entornos interactivos en tiempo real, como la realidad virtual, la capacidad computacional actual no responde a las necesidades de un render de luz, geometría, texturas y sombreados totalmente realistas, lo que hace que el usuario perciba artefactos extraños, diferentes en el mundo virtual frente al mundo real.

Conseguir que el usuario se identifique con su avatar y personaje del mundo virtual es también uno de los campos en los que más se ha evolucionado, donde se han desarrollado centenares de estudios que nos han permitido conocer formas, dentro de la virtualidad, de potenciar ese sentimiento de encarnación corpórea. Cuando se busca potenciar el *virtual embodiment*, uno de los métodos más frecuentes es centrarse en la apariencia del cuerpo virtual. Sustituir unas manos o guantes flotantes por toda una estructura corporal con seguimiento de posición con métodos de *handtracking*, por ejemplo, potencia el sentimiento de pertenencia al mismo. Por ello, gafas comerciales como las Meta Quest 2 incorporan directamente la sensorización de las manos del usuario sincronizadas con las del avatar (Rus, 2020). A pesar de ello, esta solución se puede ver empañada si no se logra que los movimientos del cuerpo virtual repliquen fielmente y en tiempo real los que realice el usuario físicamente, o si la apariencia del avatar no es suficientemente realista para que el cerebro del usuario la asuma como suya, causando una sensación disfórica que resultaría contraproducente.

Otra de las propuestas más utilizadas es el uso de espejos, que, mediante reflejos virtuales situados en el entorno que explora el usuario, busca generar una mayor identificación con su “yo” virtual mostrándole la imagen de su avatar reproduciendo sus mismos movimientos en tiempo real (M. Slater S. N., 2019). Esta opción, ampliamente utilizada en mundos virtuales, presenta los mismos dos dilemas que la

anterior, pero, además, nos descubre una problemática nueva, el usuario conoce su aspecto virtual completo, pero no sabe quién es. Es por ello por lo que son necesarios mecanismos que asocien al usuario a su avatar. Entre ellos, actualmente uno de los mecanismos más utilizados es el uso de una voz *en off* inicial que cuente la historia y presente el personaje al usuario. Dicha mecánica ampliamente utilizada en cine no ayuda en la sensación de presencia al usuario, quien escucha una voz ambiental que no puede asociar a nada de lo que puede vivir en la vida real.

En el presente Trabajo de Fin de Grado se propone esclarecer esta cuestión, diseñando una experiencia comparativa de realidad virtual que enfatice el *self-presence* y que permita conocer hasta qué punto éste afecta al sentimiento de *virtual embodiment* que se genera en el usuario.

1.3 Objetivos del trabajo

El objetivo principal del proyecto es el de estudiar el uso de la narrativa como potenciadora de los distintos conceptos asociados con el *virtual embodiment*. Con este fin, hemos planteado el diseño y desarrollo de dos experiencias que permitan obtener resultados por comparación, diferenciando entre las respuestas de distintos usuarios a un cuestionario específico de este estudio.

Para llevarlo a cabo, hemos dividido nuestro trabajo en tres apartados:

- En primer lugar, se hace necesaria una investigación teórica que nos acerque a la cuestión, documentándonos a través de trabajos previos relacionados con la potenciación del *virtual embodiment* y la narrativa de entorno.
- Seguidamente, se diseñarán dos experiencias de realidad virtual. A partir de una misma historia, se crearán dos narrativas inmersivas alternativas. En una, se desarrollará una experiencia sin añadidos narrativos que potencien la presentación del avatar al usuario. En ella, el usuario será consciente de la historia y narrativa de forma plena, pero sin mecanismos de enfatización continua del *self-presence*. Por otro lado, una segunda opción incluirá elementos que, evitando generar algún tipo de sesgo sobre la historia original, reforzarán el conocimiento que tiene el usuario de su avatar encarnado.
- Finalmente, realizaremos una serie de pruebas con usuarios, que nos permitirán conocer por medio de cuestionarios si los mecanismos implementados han conseguido un refuerzo del *virtual embodiment* en sus experiencias o si es necesario añadir nuevos mecanismos.

2. ESTADO DE LA CUESTIÓN

2.1 Marco teórico del trabajo

En este apartado pasaremos a explicar los conceptos que consideramos más importantes para la comprensión del proyecto en su totalidad.

2.1.1 Realidad Virtual

La realidad virtual es un campo en constante evolución que ha experimentado avances significativos en los últimos años. Esta tecnología se basa en la creación de entornos virtuales tridimensionales que pueden ser explorados y experimentados por los usuarios de una manera interactiva e inmersiva. Mediante el uso de dispositivos como cascos de realidad virtual, guantes con sensores de movimiento y controladores hápticos, los usuarios pueden sumergirse en entornos virtuales y sentirse parte de ellos (M. Slater M. V.-V., 2016).

La realidad virtual se fundamenta en la generación de una experiencia sensorial completa, donde la visión y el sonido desempeñan un papel fundamental. Los dispositivos de realidad virtual proporcionan imágenes estereoscópicas en 3D y sonido envolvente, lo que crea una ilusión convincente de presencia en un entorno virtual. Además, algunas gafas como las Meta Quest 2 (Rus, 2020), ofrecen seguimiento de movimiento, lo que permite a los usuarios interactuar con el entorno virtual y controlar su posición y movimiento dentro del mismo.

El gran avance pendiente dentro del campo de la realidad virtual es la inclusión de mecanismos que permitan virtualizar el sentido del tacto de manera convincente. Aunque se han logrado avances significativos en la simulación visual y auditiva, replicar de manera precisa y realista las sensaciones táctiles sigue siendo un desafío. La capacidad de sentir y experimentar el tacto en el entorno virtual añadiría un nivel de inmersión aún mayor, permitiendo a los usuarios interactuar con objetos y entornos virtuales de manera más natural y realista.

Para lograr esto, se están llevando a cabo investigaciones en áreas como la retroalimentación háptica y la estimulación ultrasónica, con el objetivo de desarrollar

dispositivos y técnicas que puedan transmitir sensaciones táctiles detalladas y convincentes (C. Garre, 2011). Estas investigaciones abren la puerta a una nueva generación de experiencias de realidad virtual que no solo estimulen nuestros sentidos visual y auditivo, sino también nuestro sentido del tacto, llevándonos un paso más cerca de una verdadera simulación multisensorial (L. Raya S. B., 2014).

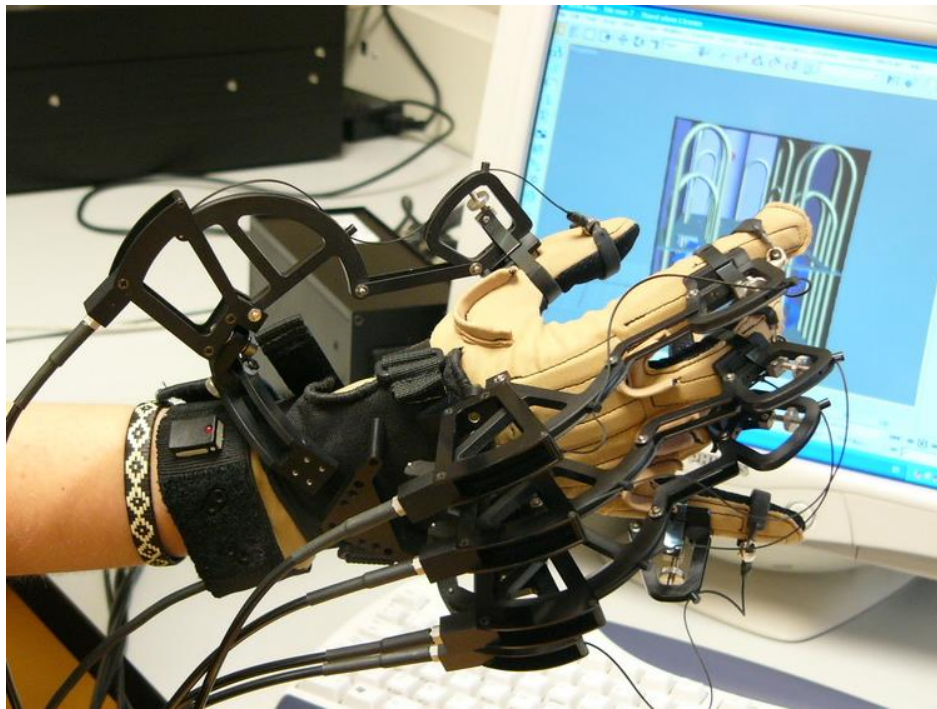


Ilustración 1: Dispositivo háptico CyberGrasp.

Fuente: <http://www.cyberglovesystems.com/cybergasp>

2.1.2 Realidad Aumentada

La Realidad Aumentada (RA) combina elementos del mundo real con elementos virtuales mediante el uso de dispositivos tecnológicos, como smartphones o gafas especiales (Grapsas, 2021). Utiliza técnicas de seguimiento y reconocimiento de imágenes para identificar y mapear el entorno físico, permitiendo la superposición precisa de elementos virtuales en tiempo real. Estos elementos pueden variar desde simples objetos 3D hasta información contextual compleja, como datos geográficos, instrucciones de navegación o indicadores de rendimiento en entornos industriales.

Uno de los aspectos clave de la realidad aumentada es su capacidad para ofrecer una experiencia inmersiva e interactiva. Los usuarios pueden interactuar con los elementos virtuales a través de gestos, movimientos o comandos de voz, lo que permite una

participación más activa y una sensación de integración entre el mundo real y el mundo virtual.

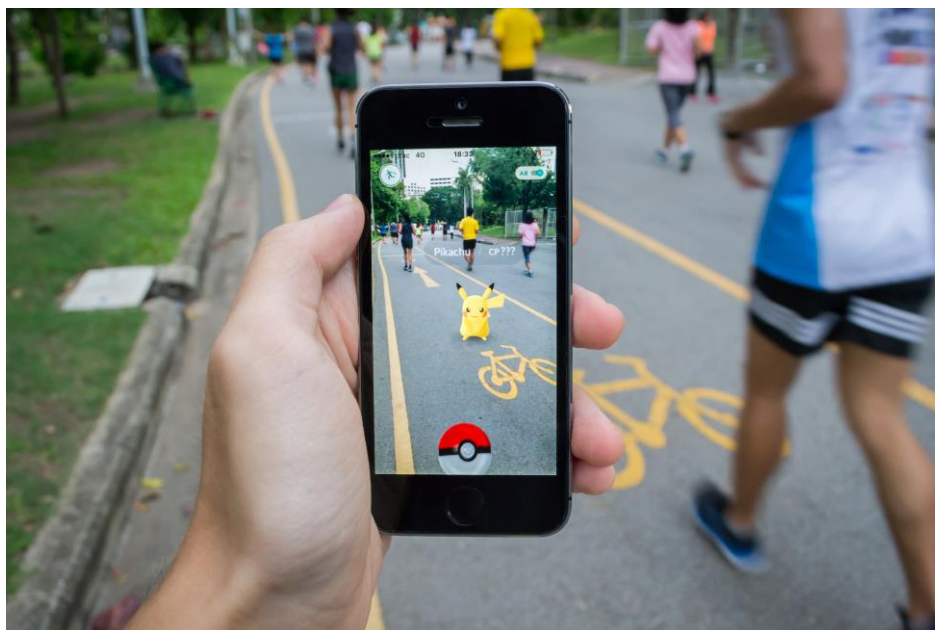


Ilustración 2: Videojuego de Realidad Aumentada para móviles, Pokemon Go.

Fuente: <https://www.elmundo.es/economia/actualidad-economica/2021/10/06/61545f7d21efa013078b45fe.html>

2.1.3 Realidad Mixta

La realidad mixta es una tecnología avanzada que combina elementos de la realidad virtual y la realidad aumentada para crear una experiencia aún más inmersiva y realista (Qianw, 2023). En la realidad mixta, los usuarios pueden interactuar con objetos y entornos virtuales que se superponen al mundo físico, generando una integración fluida entre los dos mundos. A diferencia de la realidad aumentada, donde los elementos virtuales se superponen de manera estática, la realidad mixta utiliza algoritmos de *Simultaneous Localization And Mapping* (SLAM) para rastrear y mapear el entorno físico en tiempo real. Esto permite que los objetos virtuales reaccionen a los cambios en el mundo físico, como movimientos de los usuarios o modificaciones del entorno, brindando una experiencia más dinámica y personalizada.

Una de las características distintivas de la realidad mixta es su capacidad para mantener la conciencia y percepción del entorno real mientras se interactúa con objetos virtuales. Esto se logra mediante el uso de gafas de realidad mixta, como las Microsoft HoloLens 2, que proporcionan una visualización inmersiva y estereoscópica de los elementos

virtuales integrados en el entorno físico. Los usuarios pueden ver y manipular objetos virtuales con precisión, mientras aún tienen una percepción clara de los objetos reales que los rodean. Esta combinación de elementos virtuales y físicos permite una amplia gama de aplicaciones en diversos campos, como la industria, la arquitectura, la educación y el entretenimiento.

La realidad mixta ha destacado enormemente en el ámbito de la industria y la construcción, puesto que es especialmente útil para la visualización y diseño de prototipos, además de facilitar en gran manera los trabajos de enseñanza y aprendizaje dentro de este ámbito.

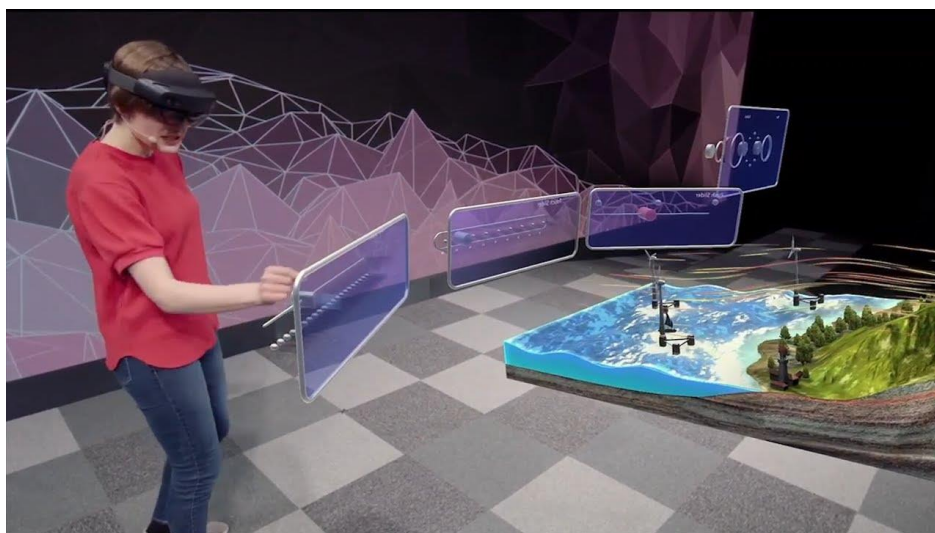


Ilustración 3: Fotograma de la presentación del dispositivo de Realidad Mixta, Microsoft Hololens 2.

Fuente: <https://www.microsiervos.com/archivo/gadgets/demo-realidad-aumentada-hololens-2-microsoft.html>

2.1.4 Dispositivo de Realidad Virtual

Un dispositivo de realidad virtual (VR, por sus siglas en inglés) es una pieza de equipo tecnológico que permite al usuario sumergirse en un entorno virtual simulado. Estos dispositivos incluyen una variedad de componentes que trabajan en conjunto para crear una experiencia inmersiva e interactiva. En primer lugar, se encuentran las gafas o cascos de VR (conocidos como HMD por sus siglas en inglés de *Head Mounted Display*), que se colocan sobre los ojos del usuario y presentan imágenes estereoscópicas en pantallas de alta resolución. Estas pantallas generan una vista envolvente y tridimensional del entorno virtual, brindando la sensación de presencia e inmersión necesarias para la experiencia.



Ilustración 4: Imagen comparativa entre las Meta Quest 2 y las Meta Quest 3, ambos dispositivos de Realidad Virtual desarrollados por Meta.

Fuente: <https://www.ghacks.net/2023/06/02/meta-quest-3-specs-vs-quest-2-differences/>

Además de las gafas de VR, los dispositivos de realidad virtual también pueden incluir controladores de movimiento, que permiten al usuario interactuar con el entorno virtual a través de gestos y movimientos naturales. Estos controladores suelen tener sensores integrados, como acelerómetros y giroscopios, que capturan los movimientos del usuario y los transmiten al entorno virtual, lo que proporciona una experiencia de interacción más precisa y realista. Además, algunos dispositivos de VR pueden contar con otros sensores internos o externos, como cámaras de seguimiento, que detectan la posición y los movimientos del usuario en el espacio físico, lo que permite una mayor precisión en la representación de los movimientos dentro del entorno virtual.

Asimismo, los dispositivos de realidad virtual pueden estar equipados con otros periféricos, como auriculares o altavoces integrados, que brindan una experiencia auditiva inmersiva al reproducir sonidos y efectos espaciales en sincronía con las imágenes visuales.

2.1.5 Presencia

La presencia, en el contexto de la realidad virtual, es una experiencia subjetiva que se refiere a la sensación de "estar allí" dentro de un entorno virtual. Es un estado en el cual el usuario se sumerge por completo y se siente conectado de manera profunda con el mundo simulado. La presencia va más allá de simplemente observar el entorno virtual,

implica una sensación de estar presente física y emocionalmente en ese espacio virtual (M. Slater B. L.-V., 2009).

Cuando se experimenta una sensación de presencia, el usuario puede llegar a olvidarse temporalmente de su entorno físico y sus limitaciones. La inmersión en la experiencia virtual es tan intensa que la mente del usuario acepta y procesa el entorno virtual como si fuera real. La presencia se logra a través de diversos factores, como la calidad y realismo de los gráficos, la capacidad de interacción dentro del mundo simulado, la precisión en el seguimiento de movimiento y la calidad del sonido espacial. Estos elementos trabajan en conjunto para crear una experiencia que engañe a los sentidos y brinde una sensación de estar físicamente presente en el mundo virtual.

La presencia tiene un impacto significativo en la calidad de la experiencia del usuario. Cuanto mayor es la sensación de presencia, más inmersivo y envolvente se vuelve el entorno virtual. Esta sensación de inmersión profunda puede generar emociones intensas y una conexión emocional con los objetos y personajes virtuales. Además, la presencia también puede influir en el grado de interacción y participación del usuario en la experiencia virtual, ya que, al sentirse presente, el usuario tiende a involucrarse activamente y a explorar el entorno de manera más completa.

La presencia es medible a través de diferentes cuestionarios como el Presence Questionnaire (B. G. Witmer, 1998) o el IPQ (*igroup presence questionnaire (IPQ) overview / igroup.org – project consortium, s. f.*)

2.1.6 Inmersión

La inmersión en realidad virtual es un concepto fundamental, se refiere al grado en el que el entorno potencia que un individuo se sienta absorbido por la experiencia, perdiendo la noción de su entorno físico y experimentando una sensación de presencia y participación en el mundo virtual.

La inmersión se logra a través de una combinación de estímulos sensoriales cuidadosamente diseñados. Los aspectos visuales desempeñan un papel crucial, ya que el usuario se sumerge en un entorno tridimensional que puede ser tan realista como lo

permitan los avances tecnológicos. La calidad de los gráficos, la iluminación, los efectos especiales y la atención al detalle contribuyen a crear una representación visual convincente y cautivadora.

Además de lo visual, los estímulos auditivos son esenciales para una inmersión efectiva. La incorporación de sonidos espaciales y realistas mejora la sensación de estar presente en el entorno virtual, permitiendo al usuario localizar y seguir fuentes de sonido, así como interactuar con ellas.

En algunos casos, la retroalimentación háptica también se emplea para mejorar la inmersión del entorno virtual. Mediante el uso de dispositivos hápticos, se puede proporcionar retroalimentación táctil, permitiendo al usuario sentir la textura de objetos virtuales, la resistencia al tocarlos o incluso la vibración simulada de una explosión, aumentando aún más la sensación de realismo.

2.1.7 *Virtual Embodiment*

El *virtual embodiment* es la capacidad de un usuario de sentir que está encarnado en un cuerpo digital dentro de un entorno virtual. Se trata de la sensación de tener un cuerpo virtual que se mueve y responde a las acciones y comandos del usuario, generando una conexión íntima entre la conciencia física del usuario y su representación en el mundo virtual (M. Slater K. K., 2012).

Cuando se logra un alto nivel de *virtual embodiment*, el usuario puede experimentar una sensación de presencia aún más profunda en el entorno virtual. Al tener un cuerpo digital que se siente como una extensión de sí mismo, el usuario puede explorar y participar en el entorno virtual de manera más intuitiva y natural. Esto puede aumentar la sensación de inmersión y contribuir a una experiencia de realidad virtual más envolvente.

La potenciación del *virtual embodiment*, siempre ha sido un elemento algo problemático. La piel es el órgano más grande de nuestro cuerpo y nos es técnicamente muy difícil crear dispositivos que nos puedan permitir experimentar sensaciones en ella sin comprometer otros aspectos de la experiencia como la movilidad. Por ello, aunque

también se están consiguiendo avances en este terreno, las principales investigaciones han tomado otro camino.

Mediante técnicas de simulación y diseño de interfaces, se han explorado diversas estrategias para aumentar el sentimiento del *virtual embodiment*. Por ejemplo, el uso de espejos virtuales puede permitir al usuario verse a sí mismo como un avatar en el entorno virtual, lo que refuerza la sensación de estar presente en ese cuerpo digital, al ver reflejados en tiempo real todos sus movimientos.

El *handtracking*, por otro lado, permite al usuario controlar y mover las manos en el mundo virtual de manera natural. Al ver los movimientos de sus propias manos representados por su avatar, se refuerza la sensación de encarnación y presencia.

Además, la detección de la mirada de otros avatares puede crear una mayor sensación de interacción social y realismo. Cuando los avatares miran y responden a las acciones y movimientos del usuario, se genera una mayor sensación de conexión y presencia en el entorno virtual y con el cuerpo del avatar, ya que se simula la comunicación no verbal y el reconocimiento de la presencia de otros seres virtuales.

2.1.8 *Self-Presence*

Self-presence, es un concepto en el contexto de la realidad virtual que se refiere a la forma en que un usuario experimenta y concibe su propia identidad al encarnar un cuerpo virtual. Esta experiencia implica una sensación profunda de identificación y conexión personal con el avatar que se está habitando en el entorno virtual (J. O. Bailey, 2016).

Cuando se experimenta un alto nivel de *self-presence*, el usuario se sumerge en su identidad virtual y experimenta una desconexión temporal con su "yo" físico. Durante esta inmersión, el usuario se alinea temporalmente con los intereses, motivaciones y características que comprende que tendría el avatar en el contexto virtual específico.

La *self-presence* puede influir en la forma en que el usuario se comporta y percibe el mundo virtual. Durante esta experiencia, el usuario puede desarrollar un sentido de

agencia y autoeficacia, donde sienta que puede influir y tener un impacto significativo en el entorno virtual a través de las acciones de su avatar. Además, el usuario puede experimentar una conexión emocional con el avatar y desarrollar un sentido de pertenencia a la realidad virtual en la que está inmerso.

2.1.9 Aplicaciones de la Realidad Virtual

La realidad virtual ha demostrado tener un gran potencial en una amplia variedad de aplicaciones, prácticamente todos los aspectos de nuestra vida pueden beneficiarse de la estandarización de esta tecnología. El aumento de la calidad de las experiencias inmersivas permite su aplicación en campos tan dispares como la educación, la medicina, la psicoterapia o el entretenimiento.

En educación, la realidad virtual abre cientos de posibilidades de aplicación del aprendizaje inmersivo. Los estudiantes podrían encarnar virtualmente a personajes históricos para entender mejor su obra y pensamiento o sumergirse en simulaciones científicas para comprender mejor los conceptos más complejos. Como ejemplo cercano, tenemos el proyecto InmesArte que propone una herramienta educativa que permite al usuario experimentar cuadros de manera interactiva (L. Raya J. J., 2021).



Ilustración 5: Fotograma de InmesArte.

Fuente: <https://www.realovirtual.com/pictures/2015/10/dal%C3%AD.jpg>

En el ámbito de la medicina, se han encontrado aplicaciones verdaderamente prometedoras. En el artículo *Immersive Virtual Reality and Virtual Embodiment for Pain Relief* (M. Matamala-Gómez, 2019), los investigadores comprueban la utilidad de la potenciación del *virtual embodiment* para la reducción del umbral del dolor. Basándose en la idea de que se siente menos dolor si se puede ver la causa de este, aprovechan la realidad virtual para darle al paciente una representación visual de la dolencia. El usuario percibe esta como la causa del dolor y su umbral del dolor disminuye. De igual manera, la herramienta Virtual Transplant Reality se utiliza como distractor del dolor en pacientes pediátricos (E. Guijarro, 2021).



Ilustración 6: Paciente probando Virtual Transplant Reality

Fuente: https://www.consalud.es/uploads/s1/17/48/32/0/un-nino-es-intervenido-mientras-disfruta-de-virtual-transplant-reality-foto-u-tad_4_508x316.jpeg

También podemos encontrar el uso de la realidad virtual en rehabilitación motora (D. Pinto-Fernandez, 2020) o cognitiva (L. Raya J. J., 2023). En ambos casos, una sensación de presencia y de *virtual embodiment* son esenciales para que la terapia pueda ser exitosa.

La realidad virtual también ha posibilitado grandes avances en la creación de tratamientos psicoterapéuticos. El desarrollo de las técnicas de potenciación de la presencia y el *virtual embodiment* permite conseguir experiencias en las que los

usuarios se crean que realmente están siendo expuestos a esa situación traumática que desean superar. Gracias a esto han surgido diferentes iniciativas y proyectos que buscan ayudar a las personas a superar traumas como el miedo a ciertos animales, a las alturas o a hablar en público. Un ejemplo de ello se muestra en el artículo “*A Virtual Reality Training Application for Adults with Aspergers Syndrome*”, donde se ayuda a usuarios con síndrome de Asperger a hablar en público a través del entrenamiento con gamificación y realidad virtual (D. Rojo, 2019).



Ilustración 7: Fotograma de la aplicación de ayuda para personas con Asperger, CicerOn

Fuente: <https://st1.u-tad.com/media/2019/11/Ciceron1-768x359.png>

También es fácil darse cuenta del enorme número de nuevas aplicaciones que puede traer esta tecnología a la hora de aumentar la oferta de ocio y entretenimiento. Ser capaz de sumergir a los usuarios en entornos y situaciones de lo más variopintas es sin duda uno de los grandes alicientes de la realidad virtual. Si la innovación que trajeron los videojuegos fue la posibilidad de interacción que se le daba al usuario, con la realidad virtual ésta crece exponencialmente. De igual manera se dan otros elementos destacables, como el aumento de la conexión emocional con los personajes encarnados o de la inmersión, para los que es necesaria una correcta enfatización del *virtual embodiment* o la presencia.

Aunque se han comentado sólo algunos de los campos donde la realidad virtual ha comenzado a desplegarse, es probable que, gracias a todas sus ventajas, y en combinación con otras tecnologías como la realidad aumentada, en el futuro ésta acabe

desarrollándose hasta conformar una parte importante de todas las interfaces humano-máquina existentes.

2.2 Trabajos relacionados

En el presente apartado, analizamos en detalle publicaciones científicas donde se ha investigado en relación con la potenciación del *virtual embodiment* y la identificación del usuario con el avatar.

2.2.1 *How We Experience Immersive Virtual Environments*

"*How We Experience Immersive Virtual Environments*" es un documento escrito por Mel Slater en 2009 que explora cómo experimentamos los entornos virtuales inmersivos. En este artículo, Slater analiza los factores que contribuyen a la inmersión y cómo afectan nuestra percepción y experiencia en los entornos virtuales (M. Slater B. L.-V., 2009).

El autor comienza definiendo la inmersión como la sensación de estar presente y participar activamente en un entorno virtual. Destaca la importancia de la ilusión perceptual en la inmersión, que implica que nuestros sentidos perciban el entorno virtual como real. Los factores clave para lograr esta ilusión son la calidad visual, la respuesta en tiempo real y la interactividad del entorno.

Slater también examina cómo la inmersión en entornos virtuales puede afectar nuestras emociones y comportamientos. El autor señala que las experiencias virtuales pueden generar respuestas emocionales similares a las que experimentamos en el mundo real. Por ejemplo, las personas pueden sentir miedo o alegría en un entorno virtual, lo que demuestra el potencial de estos entornos para influir en nuestras emociones y estados de ánimo.

Además, el autor discute la importancia de la presencia social en la inmersión. La interacción con otros avatares virtuales o usuarios puede aumentar la sensación de estar presente en el entorno virtual. La presencia social puede generar una mayor identificación con el entorno y facilitar la colaboración y la comunicación.

En resumen, la investigación sostiene que la inmersión en entornos virtuales depende de la ilusión perceptual, la interactividad, la respuesta en tiempo real y la presencia social. Estos elementos influyen en nuestra experiencia en los entornos virtuales y

tienen el potencial de afectar nuestras emociones y comportamientos. Comprender cómo experimentamos estos entornos es fundamental para el desarrollo de aplicaciones y tecnologías más avanzadas en el ámbito de la realidad virtual y la inmersión.

2.2.2 *The Sense of Embodiment in Virtual Reality*

"*The Sense of Embodiment in Virtual Reality*" es un documento escrito por Mel Slater en 2012 que explora el concepto previamente detallado, del *virtual embodiment*. En este artículo, el autor analiza cómo la realidad virtual puede crear una sensación de encarnación, donde los usuarios perciben y experimentan que están presentes en un cuerpo virtual (M. Slater K. K., 2012).

Slater comienza explicando que la encarnación implica sentir propiedad y control sobre un cuerpo virtual, como si fuera propio. Destaca la importancia de la retroalimentación multisensorial para lograr esta sensación de encarnación. Al proporcionar a los usuarios señales visuales, auditivas y hápticas que se alinean con los movimientos de su cuerpo virtual, la realidad virtual puede crear una ilusión convincente de encarnación.

El autor examina además los factores psicológicos y perceptuales que contribuyen a la sensación de *virtual embodiment*. Discute estudios de investigación que han demostrado la maleabilidad de la representación corporal en realidad virtual, incluidos experimentos donde los participantes experimentaron propiedad corporal sobre avatares virtuales e incluso cuerpos no humanos.

La investigación también profundiza en las aplicaciones e implicaciones potenciales del *virtual embodiment*. Discute cómo puede mejorar la sensación de presencia e inmersión en entornos virtuales, así como su potencial en entornos terapéuticos, simulaciones de entrenamiento e interacciones sociales.

En conclusión, el artículo enfatiza que la sensación de encarnación en la realidad virtual es un fenómeno complejo y fascinante. Implica la integración de retroalimentación multisensorial y la manipulación de la representación corporal, lo que resulta en una ilusión convincente de poseer y controlar un cuerpo virtual.

2.2.3 *Construction of the Virtual Embodiment Questionnaire (VEQ)*

"Construction of the Virtual Embodiment Questionnaire (VEQ)" es un artículo escrito por Daniel Roth y Marc Erich que describe el desarrollo y la validación de un cuestionario llamado VEQ (Virtual Embodiment Questionnaire) para medir la experiencia de encarnación en entornos virtuales (D. Roth, 2020).

Los investigadores diseñaron el VEQ para evaluar la experiencia de *virtual embodiment* en tres dimensiones principales: sensación de propiedad, agencia motora y cambio en la perspectiva corporal. El cuestionario consta de una serie de afirmaciones a las que los participantes deben responder según su grado de acuerdo o desacuerdo.

Se llevaron a cabo varios estudios para evaluar la validez y la confiabilidad del VEQ. Se realizaron pruebas piloto y se recopiló información de un grupo de participantes que experimentaron una prueba en realidad virtual. Los resultados mostraron una alta consistencia interna y una buena validez de construcción para las dimensiones del cuestionario.

Los investigadores también exploraron cómo el VEQ se relacionaba con otros conceptos psicológicos relevantes, como la presencia y la inmersión. Encontraron correlaciones positivas significativas, lo que respalda aún más la validez del cuestionario.

Este cuestionario permite a los investigadores y profesionales evaluar de manera sistemática y cuantitativa la conexión entre el usuario y su cuerpo virtual. El VEQ puede ser utilizado en estudios futuros para comprender mejor los factores psicológicos involucrados en la encarnación y su impacto en la inmersión y la interacción en la RV.

2.2.4 *When Does Virtual Embodiment Change Our Minds?*

"When Does Virtual Embodiment Change Our Minds?" es un artículo escrito por Jakki O. Bailey que investiga las condiciones en las que el *virtual embodiment* puede influir en nuestros procesos cognitivos y comportamientos (J. O. Bailey, 2016). El autor explora cómo la experiencia de encarnación en entornos virtuales puede tener efectos duraderos y cómo estos efectos varían según diferentes factores.

Bailey destaca que la *self-presence* es un componente crucial del *virtual embodiment*. Se refiere a la sensación subjetiva de sentirse conectado con el propio cuerpo virtual dentro de un entorno de realidad simulada. Cuanto más inmersos nos sintamos en la experiencia virtual, mayor será nuestra sensación de *self-presence* y nuestra capacidad de percibir el cuerpo virtual como una extensión de nosotros mismos. Esta sensación de conexión y presencia con el cuerpo virtual es esencial para que la encarnación virtual tenga efectos significativos en nuestra cognición y comportamiento.

El autor examina varios factores que influyen en el impacto del *virtual embodiment* y la *self-presence*. Uno de ellos es la congruencia entre el cuerpo virtual y la identidad del usuario. Cuando el avatar se ajusta a la identidad y las características del individuo, la encarnación tiene un mayor impacto en la cognición y el comportamiento. Además, la duración de la experiencia de encarnación y el contexto social también juegan un papel importante.

Bailey enfatiza que la *self-presence* no sólo se refiere a la conexión con el cuerpo virtual, sino también a la percepción del entorno virtual como un espacio habitable y significativo. Cuando experimentamos este sentimiento de inmersión en nuestro avatar virtual, nos encontramos más abiertos a las influencias cognitivas y emocionales que se pueden experimentar en ese contexto.

En resumen, Bailey sostiene que el *virtual embodiment* puede cambiar nuestra forma de pensar y comportarnos en la virtualidad, y la *self-presence* es un elemento clave en esta experiencia. Comprender estos conceptos es fundamental para aprovechar el potencial de la encarnación virtual en diversos ámbitos y maximizar sus beneficios en la interacción humano-máquina.

3. ASPECTOS METODOLÓGICOS

3.1 Metodología.

La metodología empleada en este Trabajo de Fin de Grado se ha caracterizado por un enfoque investigativo hacia el concepto de *virtual embodiment*. Para ello, se ha llevado a cabo una revisión bibliográfica exhaustiva de investigaciones, estudios y *papers* previos que trataban el tema, con el objetivo de comprender a fondo los enfoques teóricos, las metodologías utilizadas y los hallazgos obtenidos en este campo de estudio.

A través de esta revisión, se han identificado varios trabajos relevantes que proporcionaron información clave y fundamentos teóricos sólidos para la investigación en cuestión. De esta manera, hemos podido situar una base teórica derivada de los diferentes estudios realizados por Mel Slater, así como de la investigación realizada por Jakki O. Bailey y que sitúa el concepto de *self-presence*.

Sobre la base de estas investigaciones previas, se ha formulado una hipótesis central para el presente estudio: se postula que es posible reforzar la sensación de *virtual embodiment* en el usuario al fomentar una mayor identificación emocional con el avatar y una mayor sensación de ser el propio avatar. La hipótesis planteada sostiene que, al potenciar a través de la narrativa inmersiva el conocimiento del usuario sobre su avatar el usuario podría sentir aumentada la sensación de *virtual embodiment* o *self-presence*.

Para poner a prueba esta hipótesis, hemos diseñado un experimento específico. Para éste, hemos creado dos escenas virtuales idénticas en cuanto a historia y jugabilidad, pero con diferencias clave en la forma en que se presentan y se contextualizan. Uno de los niveles se ha diseñado para proporcionar al usuario un mayor contexto emocional, con el objetivo de aumentar el sentimiento de *self-presence* y, en última instancia, la sensación de *virtual embodiment*. El otro, se ha mantenido como un grupo de control para comparar los resultados y evaluar el impacto de las modificaciones introducidas.

Además, hemos realizado un análisis minucioso de los cuestionarios existentes utilizados en investigaciones previas relacionadas con la experiencia de realidad virtual.

Hemos revisado y considerado *tests* como el de "*Construction of the Virtual Embodiment Questionnaire (VEQ)*" (D. Roth, 2020), que se utiliza para medir la sensación de *embodiment* y la conexión entre el usuario y el avatar virtual; el cuestionario "*Measuring Narrative Engagement*" (R. Buselle, 2009), que se enfoca en evaluar el nivel de compromiso narrativo del usuario en una experiencia virtual; y el cuestionario "*A Questionnaire to Measure the User Experience in Immersive Virtual Environments*" (K. Tcha-Tokey, 2016), que aborda diversos aspectos de la experiencia del usuario en entornos de realidad virtual. A partir de estos cuestionarios existentes, hemos elaborado un cuestionario personalizado para las pruebas, adaptado específicamente a los objetivos y variables de investigación planteados.

Para la fase de pruebas, proporcionamos a los participantes una hoja informativa detallada que describe los objetivos del estudio, los procedimientos involucrados y los derechos del participante. Hemos buscado garantizar el anonimato y la confidencialidad de los datos recopilados en todo momento.

Una vez finalizadas las pruebas, hemos procedido a analizar los datos recopilados.

3.2 Tecnologías empleadas

En el desarrollo de este proyecto, se han utilizado varias tecnologías que han desempeñado un papel fundamental en la implementación y ejecución de éste. A continuación, se presentan los principales elementos tecnológicos utilizados y su aplicación en el proyecto:

3.2.1 Windows 10 (Sistema Operativo)

El sistema operativo Windows ha sido utilizado como la plataforma principal para el desarrollo y la ejecución del proyecto, las *builds* han sido compiladas para su ejecución desde el PC. Nos ha proporcionado un entorno estable y compatible con las demás herramientas utilizadas. Además, Windows ofrece soporte para las aplicaciones y software utilizados durante el desarrollo, como Unity Engine y Visual Studio.

3.2.2 Meta Quest 2

El dispositivo de realidad virtual Meta Quest 2 ha sido utilizado como la plataforma de hardware principal para brindar la experiencia inmersiva al usuario. Gracias a sus capacidades de seguimiento de movimiento 6DoF, audio envolvente y visualización en alta resolución y frecuencia, se ha logrado crear un entorno virtual envolvente para los participantes del experimento, donde los sonidos se sientan ubicados en el espacio y evitando producir algún tipo de mareo o malestar al usuario.



Ilustración 8: Dispositivo Meta Quest 2

Fuente: <https://www.eurogamer.net/meta-quest-2-getting-100-price-hike>

3.2.3 Unity Engine 21.3.16f1

Unity Engine es un motor de desarrollo de juegos y entornos interactivos ampliamente utilizado en la creación de aplicaciones de realidad virtual. En este proyecto, Unity Engine ha sido utilizado para diseñar y construir el entorno virtual, así como para implementar la interacción y los elementos visuales necesarios para la experiencia de realidad virtual.

3.2.4 XR Interaction Toolkit 2.3

XR Interaction Toolkit, es un componente de Unity utilizado para facilitar el desarrollo de experiencias interactivas en realidad virtual, aumentada o mixta. Esta herramienta ofrece una amplia gama de funcionalidades para facilitar la interacción del usuario con el entorno virtual. En el proyecto, se ha empleado para implementar varios de los aspectos imprescindibles para el correcto funcionamiento del avatar, como la navegación espacial o la detección y respuesta a la interacción con los objetos.

3.2.5 Visual Studio 2022

El entorno de desarrollo integrado (IDE) de Microsoft, ha sido utilizado para escribir y depurar el código de la aplicación de realidad virtual. Visual Studio nos proporciona herramientas y características avanzadas que facilitan en gran medida el desarrollo del proyecto, como la depuración en tiempo real perfectamente integrada para trabajar con Unity.

3.2.6 Git / GitHub / GitHub Desktop

Git, junto con la plataforma de alojamiento de repositorios GitHub, se han utilizado para el control de versiones y la colaboración en el desarrollo del proyecto. El uso de Git nos ha permitido un seguimiento preciso de los cambios realizados en el código, facilitando la gestión del desarrollo en equipo. GitHub proporcionó una plataforma centralizada para almacenar y compartir el código, lo que ha facilitado enormemente la colaboración entre los miembros del equipo. GitHub Desktop, por su parte, nos brinda una interfaz gráfica intuitiva para interactuar con el repositorio y gestionar las ramas y fusiones del proyecto.

3.2.7 Microsoft Teams

Microsoft Teams ha sido utilizado como una herramienta de comunicación y colaboración en equipo. La aplicación nos proporciona un espacio virtual donde los miembros del equipo hemos podido intercambiar ideas, realizar reuniones virtuales, compartir archivos y coordinar el progreso del proyecto. Esta plataforma nos ha facilitado la comunicación fluida y efectiva entre los miembros del equipo, independientemente de la ubicación geográfica de cada uno.

4. DESARROLLO DEL TRABAJO

En este apartado se detalla el proceso de desarrollo del proyecto, desde la concepción de la narrativa hasta la fase de pruebas. Hay que tener en cuenta que dado que se pretende comprobar si la narrativa de la experiencia puede influir en la sensación de encarnación en los usuarios y si esto puede enfatizar el sentimiento de *virtual embodiment*, ha sido necesario crear dos experiencias diferenciadas, de idéntico contenido, pero con variaciones en su forma. Para facilitar el entendimiento y la exposición, nos referiremos como Nuestra a la escena que incluye los elementos de enfatización y como Neutra, a la experiencia que no contiene estas variaciones.

4.1 Narrativa de la experiencia

“En un reino lejano, unos bandidos planean asesinar al rey y apoderarse del trono. Éste huye y decide esconderse en un lugar secreto, pero está enfermo, necesita una poción mágica urgentemente o morirá en las próximas horas. Es por ello por lo que hace llegar una carta al castillo con la información clave necesaria para poder salvar su vida y evitar el colapso del reino”.

Ésta es la narrativa que se presenta a los usuarios, pensada para que su comprensión resulte sencilla y recordable y sirva como introducción a las tareas que realizará el jugador en su paso por la experiencia. De estética medieval y con elementos mágicos, se ha planteado buscando generar una sensación de familiaridad, al ser muy similar a las de historias ampliamente reconocidas como pueden ser El Rey Arturo, Juego de tronos o El señor de los anillos.

Aunque en las dos escenas se le introduce al jugador la misma historia, la presentación se lleva a cabo de forma diferente.

En la experiencia Neutra, el usuario comienza con la visión oscurecida, mientras una voz *en off* le narra los sucesos ya comentados, el narrador no genera ningún tipo de sensación en el jugador y simplemente le introduce la historia. En la escena Nuestra, sin embargo, la experiencia comienza delante del cuadro del rey, que cobrará vida y le explicará, directamente, la situación. Esto consigue generar un mayor sentimiento de cercanía con el rey, que le cuenta su historia de primera mano al jugador. Además, se

presenta una diferencia muy clara entre la voz clara e inalterable del narrador de la escena Neutra y la voz quebrada, accidentada e interrumpida por toses del rey, que sirve, al propósito de reforzar en el jugador una sensación de necesidad y urgencia que aumenta la presencia y credibilidad de la experiencia.



Ilustración 9: Comparación entre el inicio de las dos escenas, a la izquierda Nuestra (Con el rey hablándote), a la derecha Neutra (Pantalla en negro).

Estos cambios responden a una cuestión primordial, si bien la historia contada en ambas experiencias es idéntica, hay un detalle que no se menciona directamente, pero que es el aspecto que potenciaremos mediante técnicas de narrativa inmersiva, y es que, el protagonista, no es simplemente un mago o ayudante del rey, es Aiwën, su hijo.

4.2 Entorno virtual

La creación del espacio virtual en Unity ha sido un proceso complejo que ha implicado la colaboración de un equipo multidisciplinar. Para el presente proyecto, el equipo se ha compuesto por un modelador, un diseñador y dos desarrolladores, que comenzamos a abordar la parte más técnica y creativa del proyecto en cuanto superamos una fase inicial de investigación. Desde el inicio, se ha tenido muy clara la importancia de conseguir una experiencia cautivadora, donde los usuarios se sientan completamente inmersos y presentes y que consiga “distraerlos” lo máximo posible de su existencia no virtual.

Se ha creado un escenario virtual sencillo, que ha ido aumentando su complejidad posteriormente con el paso de las iteraciones a raíz de las necesidades del resto de partes de la experiencia. Se diseña una sala de estética medieval que potencia la identificación del personaje con el contexto e historia introducidos previamente. Después de varias pruebas, se acaba estructurando la habitación con forma de “L”, lo que nos permite distribuir correctamente todos los elementos a lo largo de su superficie, haciendo que sean fácilmente identificables por el usuario. Además, se disponen tres zonas diferenciadas, que sitúan las tareas que debe resolver el usuario para finalizar la experiencia.



Ilustración 10: Distribución de la sala.

Al ingresar al espacio virtual, encontramos la primera de las diferencias entre las dos experiencias, mientras que en la escena Neutra los jugadores se encuentran en el centro de la sala, lo que les permite tener una perspectiva equilibrada y una visión clara de todos los elementos importantes que les rodean; en la escena Nuestra, el usuario aparece justo delante del cuadro, debido a la cuestión ya comentada en el apartado de narrativa.

A medida que el usuario explora la habitación virtual, descubre una serie de elementos interactivos estratégicamente ubicados. Cerca del jugador, en una mesa próxima, se encuentra una carta desplegable que le invita a examinarla detenidamente. En ésta se le proporcionan algunas pistas y detalles importantes para la progresión del juego. Además, su capacidad de ser manipulada y examinada agrega un nivel adicional de realismo y participación.



Ilustración 11: Mesa con la carta enrollada.

En la pared opuesta, visible desde la posición que adoptaría presumiblemente el jugador al leer la carta, llama la atención un papiro. Este elemento, además de su apariencia enigmática, ofrece la siguiente en la cadena de interacciones específicas requeridas para completar la experiencia. Al examinarlo, el usuario es invitado a resolver una pequeña prueba de interacción, debe tocar en el orden indicado por el papiro tres marcas “elementales” una simboliza al fuego, otra al elemento del agua y la última, a la roca.

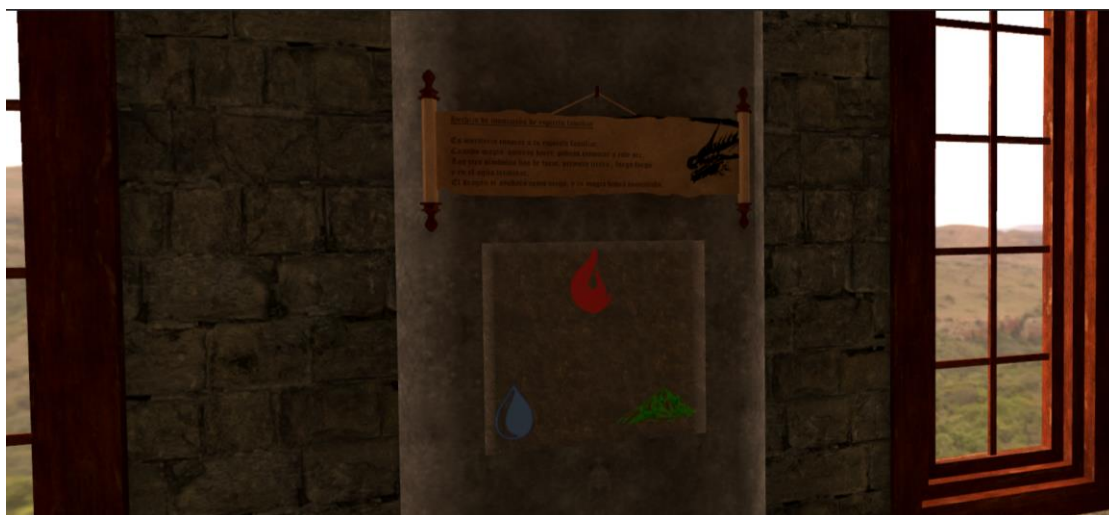


Ilustración 12: Papiro desde el punto de vista del jugador.

Resuelto el desafío, aparece en la escena, con un enorme estruendo, un dragón. El usuario ha completado el primer reto y su “espíritu familiar” ha aparecido para indicarle cómo debe proceder. El dragón le cuenta al usuario los detalles del encargo y le pide que resuelva tres tareas: debe fabricar una “pócima mágica”, encontrar un mapa oculto y afilar una espada.



Ilustración 13: Dragón desde el punto de vista del jugador.

En la zona de las pociones, se encuentran una mesa equipada con diversas pócimas de colores y un caldero. Aquí, el usuario debe conseguir la mezcla adecuada para crear la pócima curativa, para ello necesita seguir las instrucciones dictadas por el dragón. En

la escena Nuestra, la zona incluye un libro titulado “Introducción a la Magia” encima de la mesa.



Ilustración 14: Zona de las pociones.

Frente a ésta, se ubica la zona del libro, donde el jugador debe encontrar el mapa oculto entre sus páginas sirviéndose de las pistas dadas por el espíritu familiar. En esta zona, encontramos otro de los elementos de potenciación narrativa incluidos, la portada del libro varía entre las escenas, en la experiencia Neutra el título es el de “Los límites del Reino”, sin embargo, en la Nuestra, Aiwën, probablemente en un alarde de egolatría ocurrido durante su juventud, decide alterarlo a “Los límites ~~del~~ de mi Reino”. Además, mientras que en la escena Neutra el mapa se encuentra simplemente en la página, en Nuestra aparecerá “mágicamente” al abrirse el libro.



Ilustración 15: Zona del mapa.



Ilustración 16: Comparativa entre las portadas del libro, a la izquierda Neutra, a la derecha Nuestra.

La tercera zona, ubicada al fondo de la sala, se encuentra dedicada a la tarea de la espada. En este espacio, los jugadores pueden interactuar, examinarla en detalle y experimentar con su manejo. Para completar el desafío, deben afilar la espada mediante la interacción entre ésta y la rueda de piedra situada en el centro de la zona. En esta parte, el diseño de la espada cambia entre las experiencias, siendo una espada estándar en la Neutra y una espada de la realeza, con joyas y decoraciones, en la Nuestra.



Ilustración 17: Zona de la espada.



Ilustración 18: Comparación entre las dos espadas, arriba, Neutra, abajo, Nuestra.

Una vez completadas las tres tareas y, con una afirmación del dragón animándote a proseguir con tu aventura, la pantalla se torna negra mediante un *fade out* y la experiencia finaliza.

A parte de las diferencias de carácter más estético ya comentadas, hemos incluido otros dos grandes cambios entre las escenas que ayudan a reforzar la sensación de *self-presence* en la Nuestra. Por un lado, los diálogos que incluye el dragón y que se activan

cuando entras a la zona de una tarea o cuando la finalizas, varían ligeramente, incluyendo los de la Nuestra alguna expresión de mayor apoyo o cercanía con el personaje. Además, optamos por contribuir a la enfatización de la narrativa ambiental también a través de la música, mientras que en la escena Neutra se ha incluido una melodía única que suena de fondo en bucle, en la Nuestra, introducimos una base continua, sobre la que se van apoyando diferentes melodías que suenan exclusivamente cuando el jugador se encuentra cerca de alguna de las tareas.

4.3 Desarrollo técnico

4.3.1 Avatar

Para implementar y controlar el funcionamiento del avatar, nos hemos aprovechado de una serie de componentes contenidos en el paquete de Unity XR Interaction Toolkit en su versión 2.3.0. A través de la combinación entre estas herramientas y otras propias, hemos logrado una interacción fluida y realista entre el usuario y el entorno virtual. A continuación, se detallan algunos de los *scripts* que se han utilizado para el funcionamiento del movimiento del avatar:

- **XR Origin:** Es el responsable de proporcionar un punto de referencia en el mundo virtual para el avatar. Este origen se utiliza para establecer la posición y orientación inicial del jugador en el espacio virtual. XR Origin se encarga de seguir los movimientos físicos del jugador en el mundo real y traducirlos a movimientos dentro del mundo virtual. Utiliza los datos de rastreo del visor y los controladores para mantener la coherencia entre el mundo real y el virtual. Precisa de ser configurado, recibe el componente de la cámara que verá el usuario y la altura o punto de *tracking* para obtenerla.

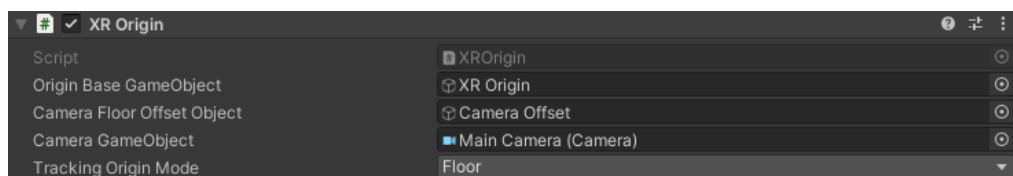


Ilustración 19: Componente XR Origin.

- **Locomotion System:** El *script* Locomotion System se encarga de manejar el movimiento del avatar del jugador en el mundo virtual. El sistema permite la gestión de los diferentes métodos de locomoción que incluye XR Interaction Toolkit. Entre estas funciones, tenemos la de caminar mediante el *joystick*, el desplazamiento relativo a través del movimiento en el mundo real del jugador y el teletransporte, que permite al jugador moverse instantáneamente de un lugar a otro en el mundo virtual.

- **Teleportation Provider:** Es el componente de Locomotion System que permite gestionar el proceso de teletransporte del avatar a través del escenario. Mediante el *script* Teleportation Area se define el área donde el jugador puede moverse. Para determinar el lugar al que avanzar, el usuario apunta con su mano derecha y activa el movimiento con el *joystick*. Esto funciona mediante XR Ray Interactor, componente que se encarga de generar el rayo de apuntado con la forma deseada, filtrar con qué capas u objetos puede o no colisionar y, en última instancia, ejecutar Teleportation Provider para permitir el movimiento.

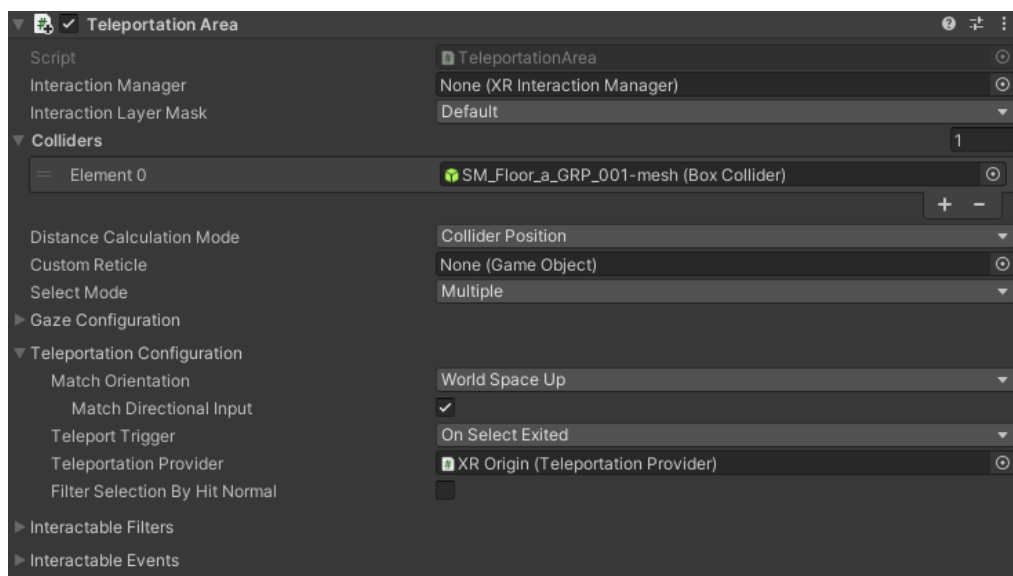


Ilustración 20: Configuración del componente Teleportation Area.

Además del propio movimiento del avatar, la otra mitad de la interacción viene por la acción de las manos. Para el modelo y animaciones hemos utilizado los del Oculus Integration SDK, para su funcionamiento, sin embargo, hemos seguido con los componentes del XR Interaction Toolkit. Esta combinación nos ha permitido lograr un funcionamiento sencillo y visualmente funcional, que ayuda a potenciar la sensación de *virtual embodiment*. Ambas manos precisan de los siguientes *scripts*:

- **XR Controller:** Para representar los controladores del dispositivo en el mundo virtual. XR Controller se vincula al dispositivo de entrada específico y se encarga de recibir los datos de entrada, como la posición y la orientación del controlador, los botones presionados y los eventos de interacción. Utilizando el XR Controller, detectamos los gestos y movimientos del jugador, como agarrar,

soltar, pulsar botones, etc. Estos datos de entrada son esenciales para habilitar la interacción del jugador con el mundo virtual y manipular objetos virtuales.

- **XR Direct Interactor:** Este *script* es el responsable de gestionar las interacciones directas entre las manos y los objetos virtuales. Cuando el jugador realiza una interacción, como agarrar un objeto virtual, XR Direct Interactor detecta el evento de agarre y establece una conexión directa entre el controlador y el objeto virtual. Esto permite al jugador mover y manipular el objeto en tiempo real, reflejando los movimientos del controlador.

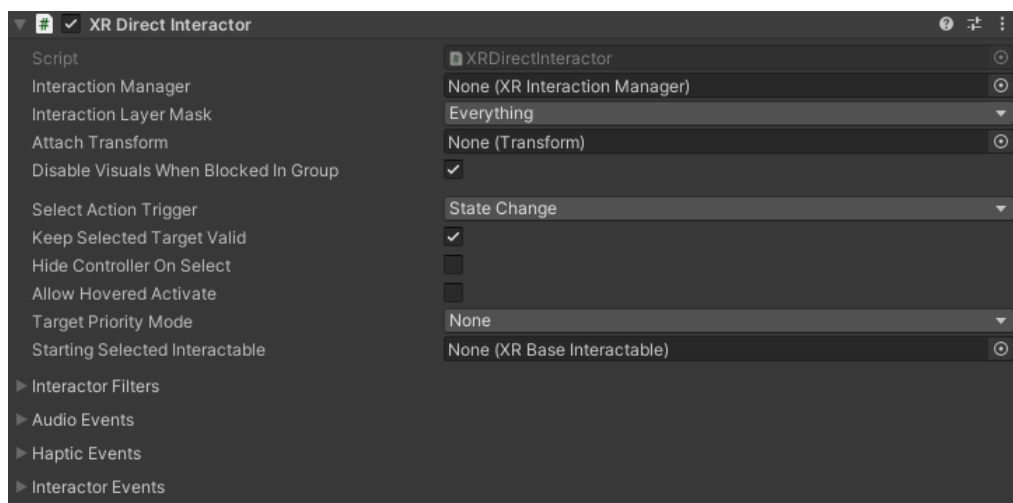


Ilustración 21: Configuración de XR Direct Interactor.

- **Animate Hand On Input:** Conecta los eventos de pellizco y agarre del controlador con el set de animaciones de la mano. De esta forma cuando el jugador presione los botones correspondientes, los dedos cambiarán su disposición a una más adecuada visualmente.

```

1  using System.Collections;
2  using System.Collections.Generic;
3  using UnityEngine;
4  using UnityEngine.InputSystem;
5
6  public class AnimateHandOnInput : MonoBehaviour
7  {
8      public InputActionProperty PinchAnimatinAction;
9      public InputActionProperty gripAnimationAction;
10     public Animator handAnimator;
11
12     // Start is called before the first frame update
13     void Start()
14     {
15     }
16
17     // Update is called once per frame
18     void Update()
19     {
20         float triggerValue = PinchAnimatinAction.action.ReadValue<float>();
21         handAnimator.SetFloat("Trigger", triggerValue);
22
23         float gripvalue = gripAnimationAction.action.ReadValue<float>();
24         handAnimator.SetFloat("Grip", gripvalue);
25     }
26 }

```

Ilustración 22: Código de AnimateHandOnInput.cs.

4.3.2 Objetos interactuables

A lo largo de la experiencia, el usuario tiene la ocasión de agarrar e interactuar con diversos objetos, algunos requeridos para finalizar la experiencia, otros completamente opcionales. Todos ellos parten de una configuración muy similar que es la que permite su interactividad, para su funcionamiento precisan de tres componentes:

- **Collider:** El componente Collider se utiliza para definir una forma geométrica en un objeto del juego que puede interactuar con otros objetos mediante colisiones. Proporciona una representación física y detecta cuando dos Collider entran en contacto. Los Collider se utilizan para establecer los límites de los objetos y permitir la detección precisa de colisiones con otros objetos o con el entorno.
- **Rigidbody:** Este componente se utiliza para añadir simulación física a los objetos del juego. Es necesario para que un objeto responda a las fuerzas y simule su comportamiento bajo la gravedad y otras fuerzas externas. Cuando se agrega un Rigidbody a un objeto, se le asignan propiedades físicas como masa y gravedad. Estas propiedades determinan cómo se moverá y reaccionará a las fuerzas aplicadas. Los Rigidbody interactúan con otros Collider en el mundo del juego, lo que les permite colisionar y responder a las colisiones de manera realista.

- **XR Grab Interactable:** Permite la interacción de agarre y manipulación de los objetos virtuales. La función principal del XR Grab Interactable es la detección y respuesta a eventos de agarre. Cuando el controlador de realidad virtual interactúa con el objeto y realiza una acción de agarre, el XR Grab Interactable detecta este evento y activa una serie de acciones. Estas acciones pueden incluir adherir el objeto a la mano o sólo seguir sus movimientos, permitiendo configurar una sensación de agarre y manipulación más realistas dependiendo del objeto y su uso. Además, el XR Grab Interactable permite configuraciones personalizadas para ajustar el comportamiento del agarre. Esto incluye opciones para establecer si el objeto debe ser soltado automáticamente después de cierto tiempo, si debe mantener una posición y orientación rígidas o si debe tener una adherencia más suave y flexible al controlador.

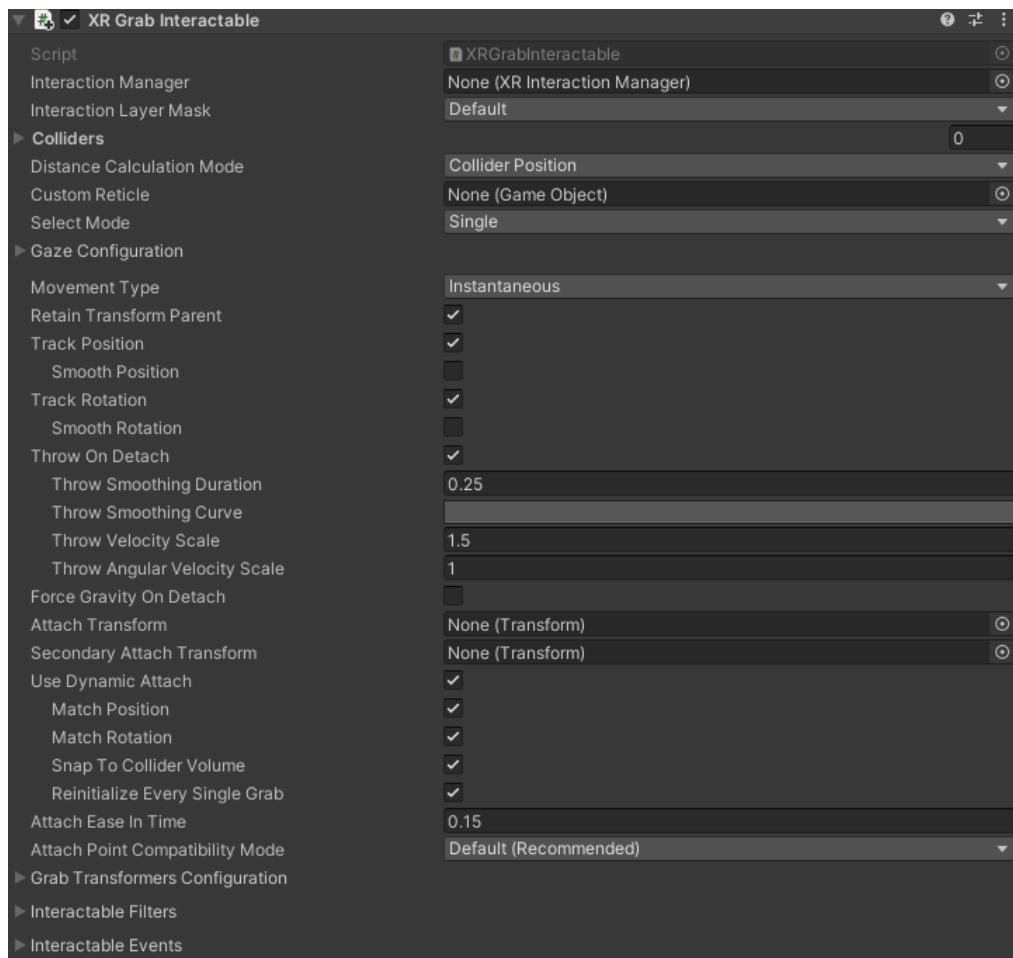


Ilustración 23: Componente XR Grab Interactable.

Una cuestión de diseño fundamental en este contexto es la consideración de los objetos que no son “agarrables” por el usuario. Existen dos enfoques clave para abordar este punto. En primer lugar, los objetos que no se pueden manipular deben tener un tamaño lo suficientemente grande para evitar que el usuario sienta la necesidad de interactuar con ellos físicamente. Por ejemplo, una mesa en el entorno virtual debería tener dimensiones proporcionales para que el usuario perciba intuitivamente que no puede moverla.



Ilustración 24: Los barriles evitan que el usuario alcance los objetos no interactivos.

En segundo lugar, todo aquel objeto que esté al alcance del usuario debe incluir la interactividad en su diseño. Es decir, si un objeto se encuentra lo suficientemente cerca del usuario como para que pueda cogerlo, debe tener algún tipo de funcionalidad o respuesta a las interacciones del usuario. Esto garantiza una experiencia inmersiva y coherente, donde cada objeto al alcance del usuario tiene un propósito y contribuye a la narrativa o al entorno virtual en general. De lo contrario, la falta de interacción con los objetos disponibles puede afectar negativamente a la experiencia, generando una sensación de desconexión o falta de realismo en el entorno virtual.

Esto nos lleva a tomar ciertas decisiones de diseño primordiales, por un lado, hemos hecho interactivables todos los objetos de la escena que se encuentran al alcance de la

mano del jugador, por el otro, hemos incluido una serie de elementos en la escena que sirven a modo de barrera, separando la zona transitable por el jugador de libros, botellas y otros elementos estáticos con los que el jugador podría intentar interactuar.

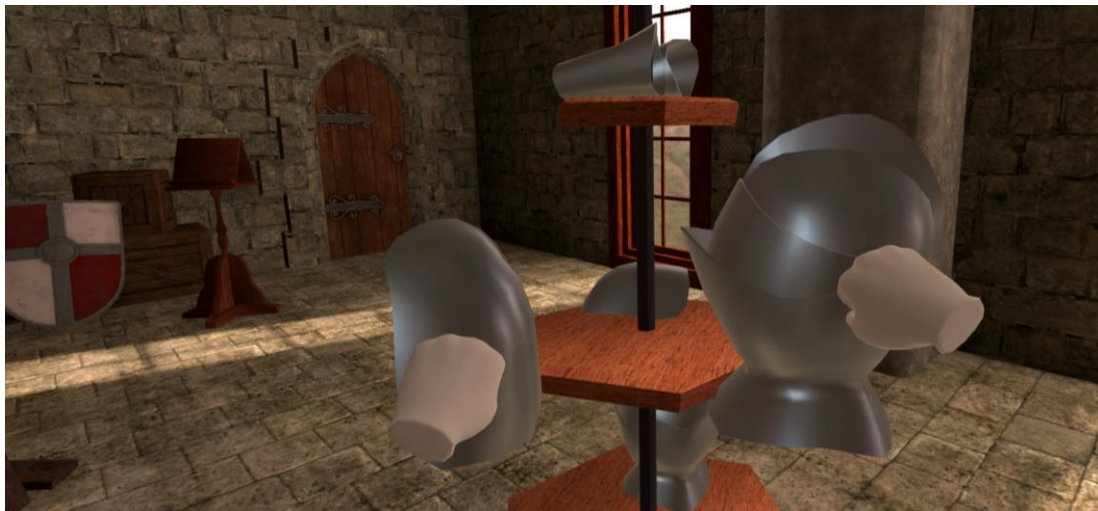


Ilustración 25: Hay multitud de elementos interactivos en la escena.

4.3.3 Puzle del papiro

El puzle del papiro es el primer reto que debe afrontar el jugador una vez entiende el contexto narrativo de la experiencia. Después de leer la carta, sabe que para avanzar necesita encontrar la manera de invocar al “espíritu familiar”. Una vez ha leído el texto escrito en el papiro realiza la prueba. La dinámica es muy sencilla, simplemente debe tocar los tres símbolos elementales que tiene delante en el orden correcto y el dragón aparecerá, finalizando la prueba.

A nivel técnico, el funcionamiento fue bastante simple de implementar. Hemos creado tres objetos diferentes, uno para cada glifo, cada uno con su Collider y el *script* `OnTriggerEnterEvent`, lo que nos permite detectar cuando han sido tocados. Además, mediante el controlador `InvokeDrakeController`, manejamos la gestión de la tarea. Especificando más:

- **OnTriggerEnterEvent:** Es el encargado de comprobar si uno de los símbolos ha sido tocado por la mano del jugador. Consta de una única función, `OnTriggerEnter`, que se ejecutará si detecta algún tipo de colisión, en caso afirmativo invoca al evento `onTriggerEvent` que pondrá en marcha la función `TouchElement` dentro del controlador. Además, se activará el Canvas que muestra al elemento iluminado, indicando al usuario que ha sido tocado.

```
1 using System.Collections;
2 using System.Collections.Generic;
3 using UnityEngine;
4 using UnityEngine.Events;
5
6 Script de Unity (6 referencias de recurso) | 1 referencia
7 public class OnTriggerEnterEvent : MonoBehaviour
8 {
9     /*[SerializeField] private string targetTag;*/
10    [SerializeField] private UnityEvent onTriggerEvent;
11
12    public GameObject lightImage;
13
14    Mensaje de Unity | 0 referencias
15    private void OnTriggerEnter(Collider other)
16    {
17        /*if (other.tag != targetTag) { return; }*/
18        Debug.Log("Triggered " + this.name);
19        if (other.tag != "Player") { return; }
20        Debug.Log("Invoke from " + this.name);
21        onTriggerEvent.Invoke();
22        lightImage.SetActive(true);
23    }
24 }
```

Ilustración 26: `OnTriggerEnterEvent.cs`

- **InvokeDrakeController:** Gestiona el funcionamiento de la tarea. En la función TouchElement comprueba si el glifo tocado es el correcto en el orden de la lista, en caso afirmativo aumenta la variable de expectedElements, en caso contrario la reinicia. Cuando el número de expectedElements es igual al de los glifos de la lista de elementos, se llama a la función del GameManager que maneja la aparición del dragón.

```
5 public class InvokeDrakeController : MonoBehaviour
6 {
7     [SerializeField] private List<GameObject> elementsInOrder;
8     private int expectedElement = 0;
9
10    0 referencias
11    public void TouchElement(GameObject element)
12    {
13        if (expectedElement >= elementsInOrder.Count)
14        {
15            Debug.Log("Prueba superada");
16            return;
17        }
18        Debug.Log("Elemento tocado : " + element.name);
19        if(element == null) { return; }
20        if(!elementsInOrder.Contains(element))
21        {
22            Debug.Log("El objeto no es un elemento");
23            return;
24        }
25
26        if (elementsInOrder[expectedElement] != element)
27        {
28            Debug.Log("ELEMENTO EQUIVOCADO");
29            ResetInvoke();
30        }
31        else
32        {
33            expectedElement++;
34            if(expectedElement >= elementsInOrder.Count)
35            {
36                GameManager.instance.InvokeDrake();
37            }
38        }
39    }
40 }
```

Ilustración 27: Parte del código de InvokeDrakeController.cs.

Aunque el desarrollo de la tarea fue sencillo, cabe remarcar que hubo que implementar algunos cambios a nivel de diseño. Ocurrían errores debido a la disposición previa de los glifos, demasiado cercanos los unos de los otros, lo que ocasionaba a veces colisiones simultáneas con el Collider de la mano.

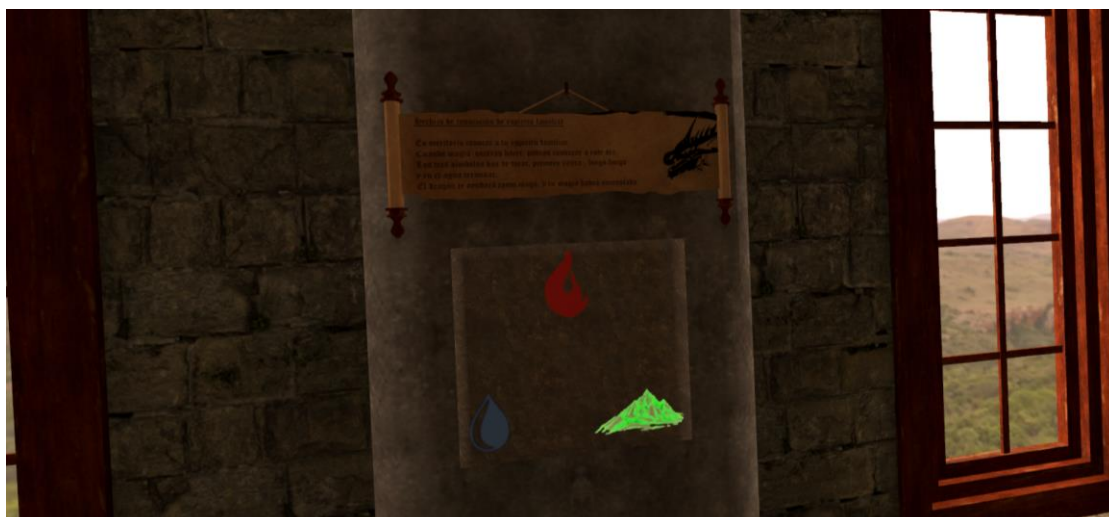


Ilustración 28: Glifo iluminado después de la interacción.

4.3.4 Tarea del mapa

La tarea del mapa es una de las tareas necesarias para que el jugador complete el encargo y finalice la experiencia. Si bien, de entre las tres, es la más sencilla de llevar a cabo, puesto que para completarla el usuario sólo tiene que abrir el libro indicado, visualizando así el mapa.

Para su correcto funcionamiento hemos desarrollado BigBookController. Durante el desarrollo se encontraron problemas al trabajar para realidad virtual con el sistema de uniones que proporciona Unity, por lo que la apertura funciona mediante una animación. El jugador agarra un Collider invisible que sirve como punto de apertura del libro, a partir de ahí se calcula la distancia entre este punto y el punto cero o de cerrado y se simula la acción por medio del Animator, que varía su aplicación progresivamente entre 0 y 1 en función de la distancia entre los dos puntos. Cuando se detecta que el libro se ha abierto, se activa el *shader* que activa la aparición del mapa (únicamente en Nuestra experiencia), además cuando la apertura está completa se llama a la función del GameManager que gestiona la consecución de la tarea.

```

34 // Mensaje de Unity | 0 referencias
35 void Update()
36 {
37     anim.SetFloat("open", blend);
38     if (!dropped)
39     {
40         blend = (grabSphere.transform.position.z - closePoint.transform.position.z) / sensibility;
41         HandModelToShow.transform.position = new Vector3(droppedSpherePoint.transform.position.x, droppedSpherePoint.transform.position.y, droppedSpherePoint.transform.position.z);
42     }
43     if (blend > 1.0f) { blend = 1.0f; }
44     else if (blend < 0.0f) { blend = 0.0f; }
45
46     if (blend >= 0.4f) { map.GetComponent<IncreaseValue>().enabled = true; }
47     if (blend > 0.7f) { _task.TaskCompleted(); }
48 }
49
50 // 0 referencias
51 public void SetHand(HoverEnterEventArgs args)
52 {
53     if (args.interactor.name == "RightHand Controller" && dropped)
54     {
55         HandModelToShow = handBookModel.gameObject;
56         HandModelToHide = ((GameManager)GameManager.instance).handModel.gameObject;
57         dropped = false;
58     }
59     else if (args.interactor.name == "LeftHand Controller" && dropped)
60     {
61         HandModelToShow = handBookModel.gameObject;
62         HandModelToHide = ((GameManager)GameManager.instance).handModel.gameObject;
63         dropped = false;
64     }
65 }
66 // 0 referencias
67 public void OnSelectEntered()
68 {
69     HandModelToShow.SetActive(true);
70     HandModelToHide.SetActive(false);
71 }
72 // 0 referencias
73 public void OnSelectExit()
74 {
75     dropped = true;
76     grabSphere.gameObject.transform.position = droppedSpherePoint.gameObject.transform.position;
77     HandModelToShow.SetActive(false);
78     HandModelToHide.SetActive(true);
79 }

```

Ilustración 29: Funciones del componente BigBookController.

El controlador se completa con una función invocada mediante evento por el Collider y que activa un modelo de la mano, izquierda o derecha, a la altura de la cubierta, en la posición de apertura del libro. Esto permite que el usuario no sea consciente del “engaño”, puesto que sentirá que su mano es realmente el modelo pegado al libro y no uno que se ha vuelto invisible al iniciar la acción.

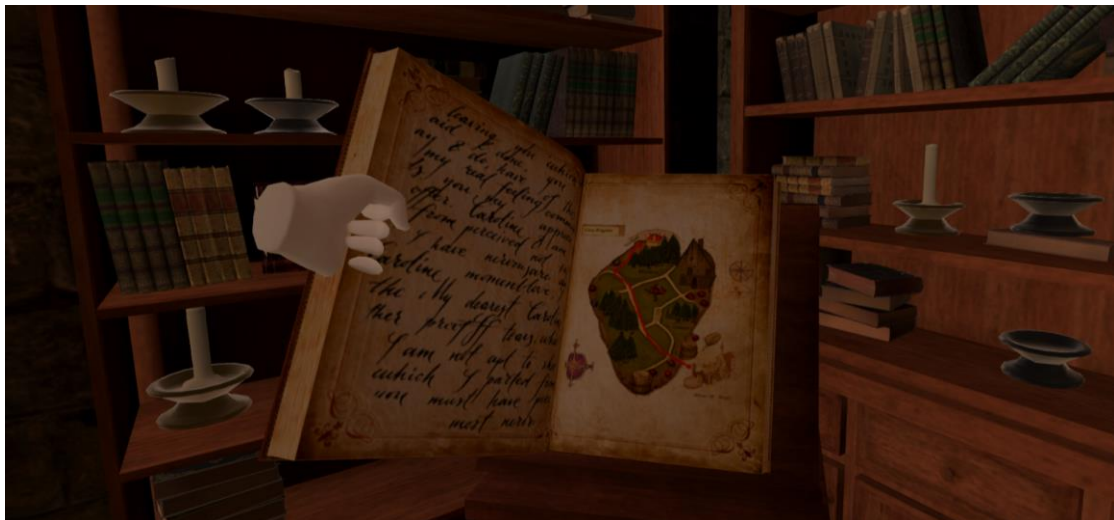


Ilustración 30: Libro siendo abierto.

4.3.5 Tarea de la espada

Esta tarea consiste en que el usuario afile una espada en la rueda afiladora que se encuentra en la sala. Para ello, debe sujetar la espada de forma que roce con la piedra, que comenzará a girar y a soltar chispas mientras se reproduce un sonido de roce, indicándole que está realizando correctamente la tarea. Además, el controlador vibrará durante la acción, proporcionando una experiencia más inmersiva al simular la sensación táctil y la resistencia física asociadas al afilado de una espada, ayudando a reforzar la conexión entre la acción realizada por el jugador y la respuesta del mundo virtual. Una vez hayan pasado cinco segundos realizando el afilado, la tarea se dará por completa con el correspondiente comentario del dragón.

Para la gestión de la tarea han sido necesarios varios elementos. Por un lado, hay que tener en cuenta que la espada funciona como uno de los “Objetos Interactuables” cuyo funcionamiento ya ha sido explicado, esto nos permite aprovechar algunos de los eventos predefinidos que incluye el componente XR Grab Interactable. Añadido a esto, se han implementado dos *scripts*:

- **SwordController:** Sirve para manejar la vibración del mando. Para ello, precisa de tres funciones: por un lado, SetHand y OnSelectExit, son llamadas mediante evento por el XR Grab Interactable de la espada, y permiten saber cuándo ha sido agarrada o soltada por el usuario y con qué mano; VibrateController, por el otro lado, sirve para emitir la vibración cuando es llamada por el controlador de la rueda, para ello comprueba la mano que sujeta el objeto en ese momento y emite un pulso háptico al controlador correspondiente.


```

24 1 referencia
25 public void VibrateController(float duration, float amplitude)
26 {
27     InputDevice device = InputDevices.GetDeviceAtXRNode(isRightHanded ? XRNode.RightHand : XRNode.LeftHand);
28     HapticCapabilities capabilities;
29     if (device.TryGetHapticCapabilities(out capabilities))
30     {
31         if (capabilities.supportsImpulse)
32         {
33             uint channel = 0;
34             device.SendHapticImpulse(channel, amplitude, duration);
35         }
36     }
37 }
38 0 referencias
39 public void SetHand(HoverEnterEventArgs args)
40 {
41     if (args.interactor.name == "RightHand Controller" && dropped)
42     {
43         isRightHanded = true;
44         dropped = false;
45         grabInteractable.attachTransform = rightAttach;
46     }
47     else if (args.interactor.name == "LeftHand Controller" && dropped)
48     {
49         isRightHanded = false;
50         dropped = false;
51         grabInteractable.attachTransform = leftAttach;
52     }
53 }
54 0 referencias
55 public void OnSelectExit()
56 {
57     dropped = true;
58 }
59 }

```

Ilustración 31: Funciones de SwordController.cs.

- **GrindingWheelController:** Gestiona el funcionamiento de la rueda de afilar y la condición de finalización de la tarea. Mediante la función de Unity OnTriggerStay se comprueba cuando la espada está colisionando con la rueda y al darse el caso se ponen en marcha los diferentes mecanismos para el movimiento de rotación, la reproducción del sonido, la generación de las chispas en el punto de colisión y el temporizador de finalización.

```

28 @ Mensaje de Unity | 0 referencias
29 private void OnTriggerStay(Collider other)
30 {
31     Debug.Log(other.name);
32     if (other.gameObject.tag == sword.tag)
33     {
34         Vector3 contact = other.ClosestPoint(transform.position);
35         Vector3 wheelSwordVector = contact - transform.position;
36         float distanceCollision = wheelSwordVector.magnitude;
37         if (!((distanceCollision > _radius - _collisionSize) && (distanceCollision < _radius)))
38         {
39             DisableEffects();
40             return;
41         }
42         timer += Time.deltaTime;
43         if (other.gameObject.TryGetComponent<SwordController>(out var swordController))
44         {
45             swordController.VibrateController(0.1f, 0.5f);
46         }
47         RotateObject();
48         if (timer >= timeToComplete) { _task.TaskCompleted(); }
49         // SPARKS EFFECT
50         wheelSwordVector = wheelSwordVector.normalized;
51         Vector3 sparksPosition = transform.position + wheelSwordVector * _radius;
52         Vector3 forwardVector = new Vector3(wheelSwordVector.y, -wheelSwordVector.x, 0);
53         _sparksEffect.transform.LookAt(sparksPosition + forwardVector, wheelSwordVector);
54         _sparksEffect.transform.position = sparksPosition;
55         _sparksEmission.enabled = true;
56         if (!_audioSource.isPlaying)
57         {
58             _audioSource.Play();
59         }
60     }
61 }
62 }
63 }

```

Ilustración 32: Función OnTriggerStay de GrindingWheelController.



Ilustración 33: Acción de afilar la espada.

4.3.6 Objetos destacados

Durante el desarrollo de la experiencia se hicieron varias pruebas con el fin de detectar errores de funcionamiento o posibles mejoras de usabilidad. Dado el perfil más técnico de todos los que conformamos el equipo de trabajo, se detectaron varios fallos de usabilidad que no habíamos tenido en cuenta y que podían entorpecer la experiencia del usuario. De entre todos ellos, la mayoría relacionados con la distribución de los objetos en la sala, observamos que en varios *test* los usuarios presentaban dificultades para localizar algunos de los objetos prioritarios para la experiencia, como podían ser la carta inicial o el papiro que introduce al primer puzle.

Esto nos lleva a buscar una manera de poder destacar ante los ojos del jugador los elementos que considerásemos importantes en cada momento dado del transcurso de la experiencia. Optamos por desarrollar un *shader* que destacase mediante un color brillante los bordes del objeto, los *outlines*. Implementamos uno de funcionamiento sencillo, que pinta las normales del objeto en su posición dados el factor de grosor y el color deseado. Se crea un material de Unity a partir del *shader* y se le va añadiendo a los objetos destacados mediante el GameManager o controladores específicos al irse reproduciendo la experiencia.

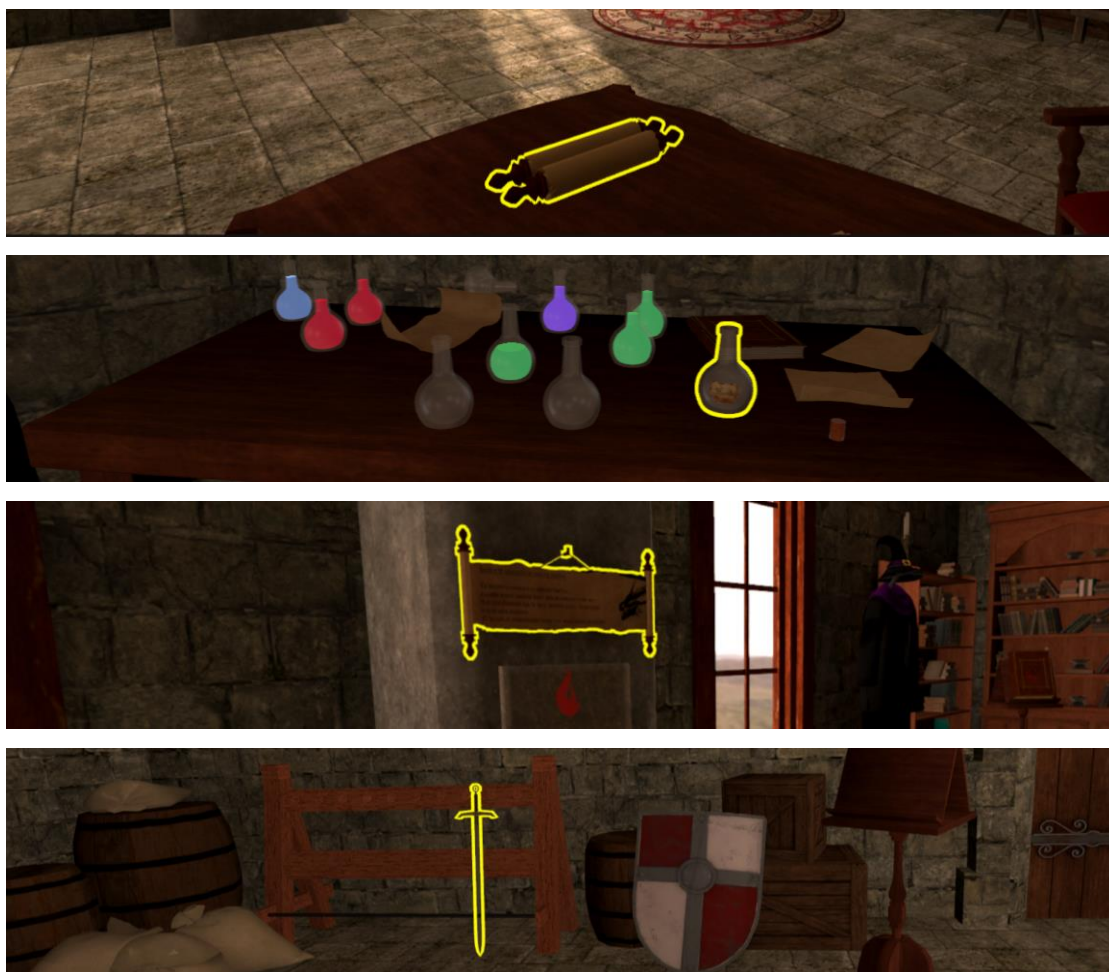


Ilustración 34: Objetos con Outline shader.

Sin embargo, al realizar algunas pruebas con el mismo, se pudo observar que, aunque el funcionamiento es el correcto desde Unity, el *outline* desaparece al ser compilado en la *build* de las gafas. Encontramos que el error proviene de la forma en la que se gestionan las capas de *shaders* en las *build* para dispositivos Android. Esto nos lleva a descartar el uso de nuestro *shader* y depender del paquete para Unity, Quick Outline, que presenta una solución de funcionamiento similar pero pensada para ser funcional en dispositivos de realidad virtual.

El uso del *outline* es el siguiente, en un determinado momento un objeto puede empezar a “brillar” puesto que se considera que es importante que repares en él, cuando lo mires fijamente se juzgará que ya lo has visto y volverá a la normalidad. Para esta funcionalidad, hemos desarrollado un *script* asignado al objeto Camera del jugador que invocará un rayo desde esta, cuando el usuario mira a un objeto con *outline*, es detectado por la colisión con el rayo y se desactivará su componente Outline.

```

1  using System.Collections;
2  using System.Collections.Generic;
3  using Unity.XR.CoreUtils;
4  using UnityEngine;
5
6  Script de Unity (2 referencias de recurso) | 0 referencias
7  public class OutlineObjectDetector : MonoBehaviour
8  {
9      public float maxDistance = 10f;
10     public float gazeTime = 0.5f;
11     private float timer;
12
13     Mensaje de Unity | 0 referencias
14     private void Update()
15     {
16         Debug.DrawLine(transform.position, transform.position + transform.forward * maxDistance, Color.red);
17         if (Physics.Raycast(transform.position, transform.forward, out RaycastHit hit, maxDistance))
18         {
19             Debug.Log("Estas mirando a " + hit.collider.gameObject.name);
20             if (hit.collider.gameObject.GetComponent<Outline>())
21             {
22                 timer += Time.deltaTime;
23
24                 if (timer >= gazeTime)
25                 {
26                     hit.collider.gameObject.GetComponent<Outline>().enabled = false;
27                     timer = 0.0f;
28                 }
29             }
30         }
31     }
32 }

```

Ilustración 35: OutlineObjectdetector.cs.

Además del *shader*, para destacar las zonas de las tareas y darle un aspecto más mágico al conjunto de la experiencia, añadimos también un área luminosa a cada tarea, señalando al jugador las zonas que aún no haya visitado.



Ilustración 36: Zonas de las tareas destacadas.

4.4 Resultados de las pruebas

Una vez finalizado el desarrollo de las experiencias y después de una fase de corrección de *bugs* y errores menores, comenzamos a realizar los *tests* con voluntarios. Las pruebas se realizaron con una población compuesta de 44 sujetos, 18 mujeres y 26 hombres, donde de forma balanceada 21 personas probaron la experiencia Neutra y 23 la Nuestra. De entre todos los candidatos 7 consideraron que tenían una experiencia previa alta de uso de la realidad virtual, 15 experiencia moderada y 22 nula. Además, se presentaron personas de un amplio rango de edades, oscilando entre los 15 y los 58 años, siendo el promedio de 28,9 años de edad. Las pruebas tuvieron lugar en diferentes emplazamientos, pero siempre manteniendo las condiciones óptimas, habitaciones vacías y cerradas, donde el usuario no tuviera distracciones y pudiera moverse sin dificultad. Cada uno de los *test* necesitó de entre 15 y 20 minutos para ser realizado. Repasando los resultados de las preguntas más significativas del cuestionario (Anexo I) podemos observar que:

- La experiencia Nuestra ha logrado una mayor sensación general de *virtual embodiment*, como es observable en las respuestas a la pregunta “Tenía la sensación de controlar el movimiento del personaje”, donde la media de las respuestas es de 4,869 sobre 5, a diferencia de la experiencia Neutra, donde es de 4,429.

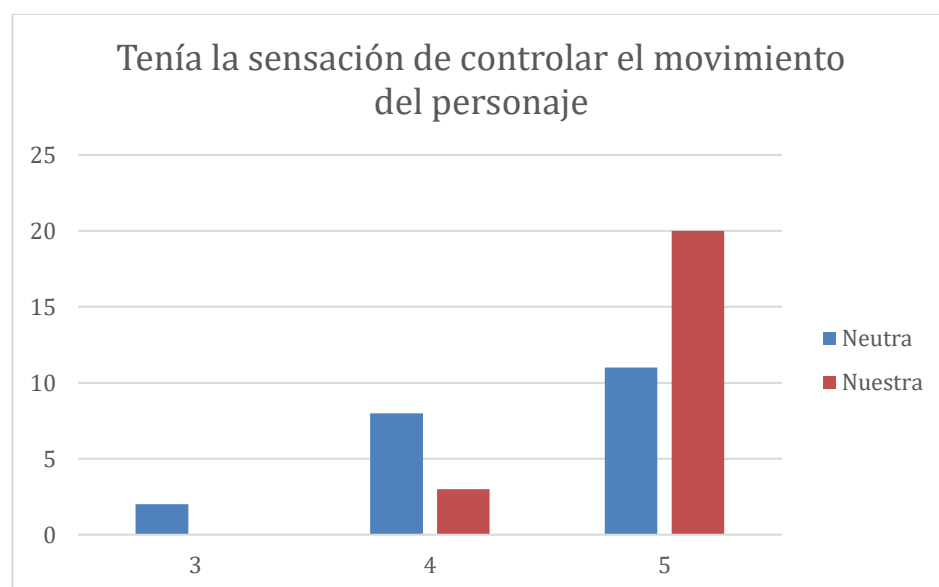


Ilustración 37: Gráfica con los resultados numéricos de "Tenía la sensación de controlar el movimiento del personaje".

- En Nuestra, se ha conseguido también un aumento de la sensación de *self-presence* con respecto a la escena Neutra. Esto se refleja en “Tenía la ilusión de tener rasgos de personalidad diferentes a los míos”, cuya media en la experiencia Neutra, 2,619, es inferior a la de Nuestra, que es de 3,0.

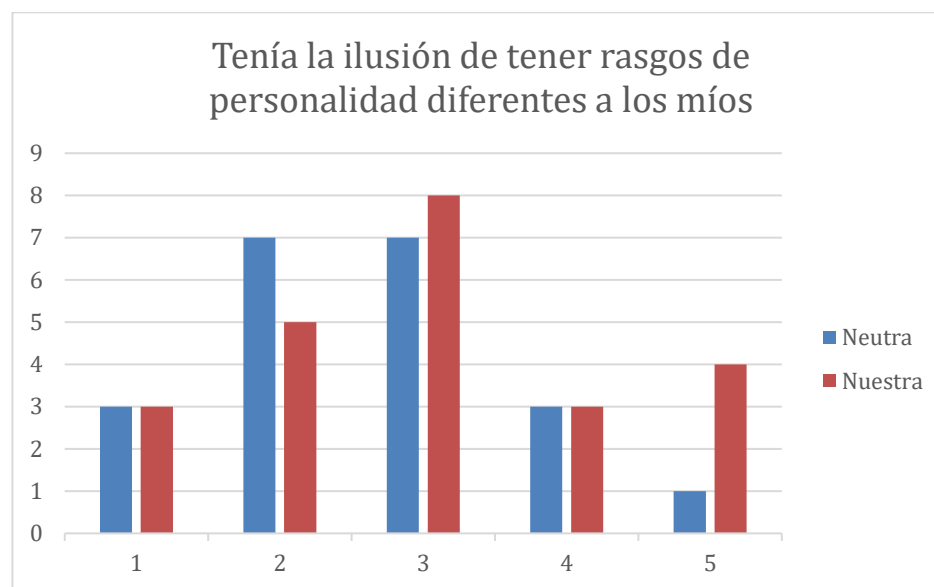


Ilustración 38: Gráfica con los resultados numéricos de "Tenía la ilusión de tener rasgos de personalidad diferentes a los míos".

- Nos damos cuenta, además, de que en Nuestra se logra una mejora en la percepción de la narrativa inmersiva, producida por los diferentes mecanismos implementados para la enfatización de ésta. Observamos que las respuestas a la pregunta “Durante la experiencia, sentí preocupación por la salud del rey y me sentía motivado para ayudar a curarle” ha obtenido una media de 3,783 en la experiencia Nuestra frente a una media de 3,429 en la experiencia Neutra. Así mismo, la media obtenida a la pregunta “Sentí que mi avatar era alguien importante para el rey o una persona influyente en el reino” presenta una media de 4,478 en Nuestra frente a una media de 4,095 en la experiencia Neutra.

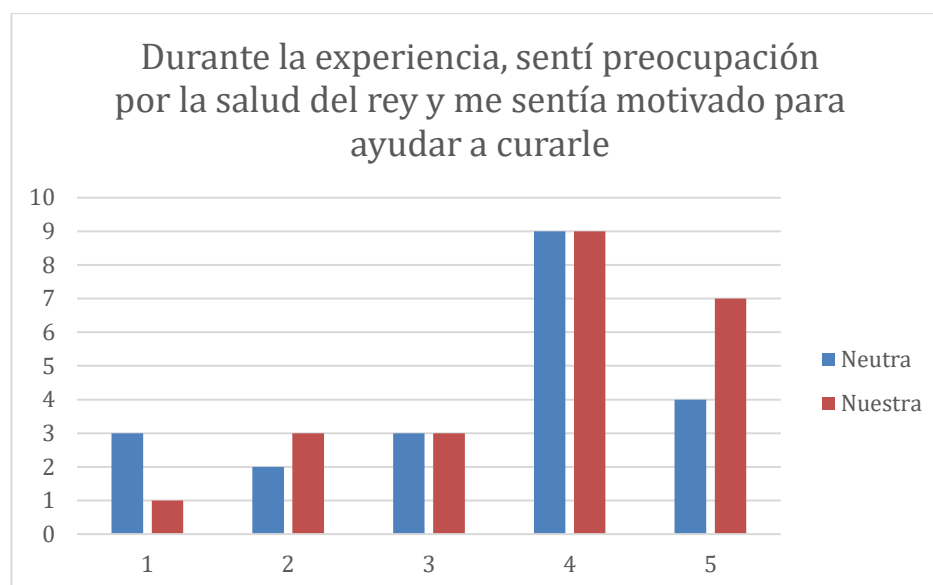


Ilustración 39: Gráfica con los resultados numéricos de "Durante la experiencia, sentí preocupación por la salud del rey y me sentía motivado para ayudar a curarle".

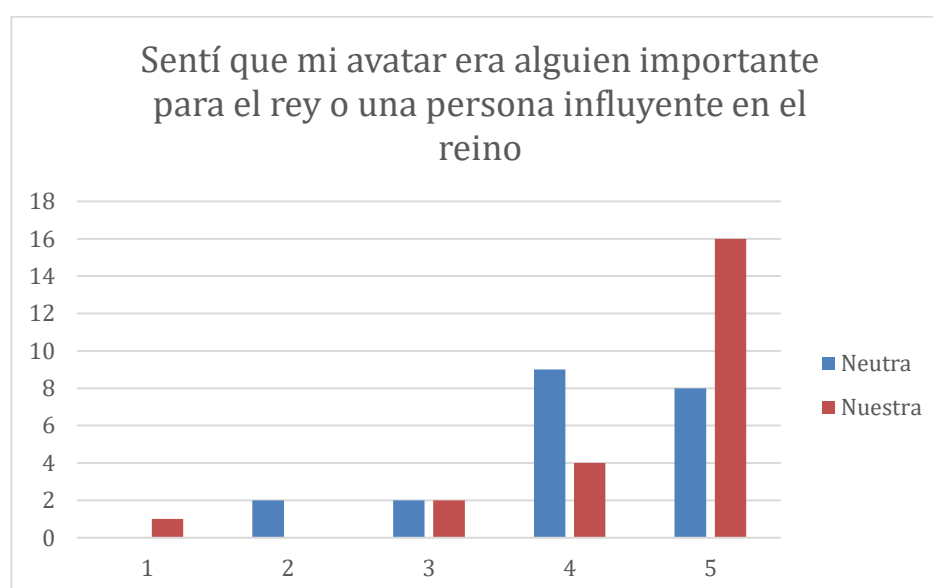


Ilustración 40: Gráfica con los resultados numéricos de "Sentí que mi avatar era alguien importante para el rey o una persona influyente en el reino".

Tendencia que persiste en la otra pregunta, esta vez negada (menos es mejor), referente a la cuestión. En “Durante la experiencia, no me importaba el bienestar del reino” se aprecia la misma mejoría, después de normalizar los valores, es decir, de darles la vuelta para poder realizar la comparación, nos queda una media de 2,619 para la propuesta Neutra y de 3,304 para la Nuestra.

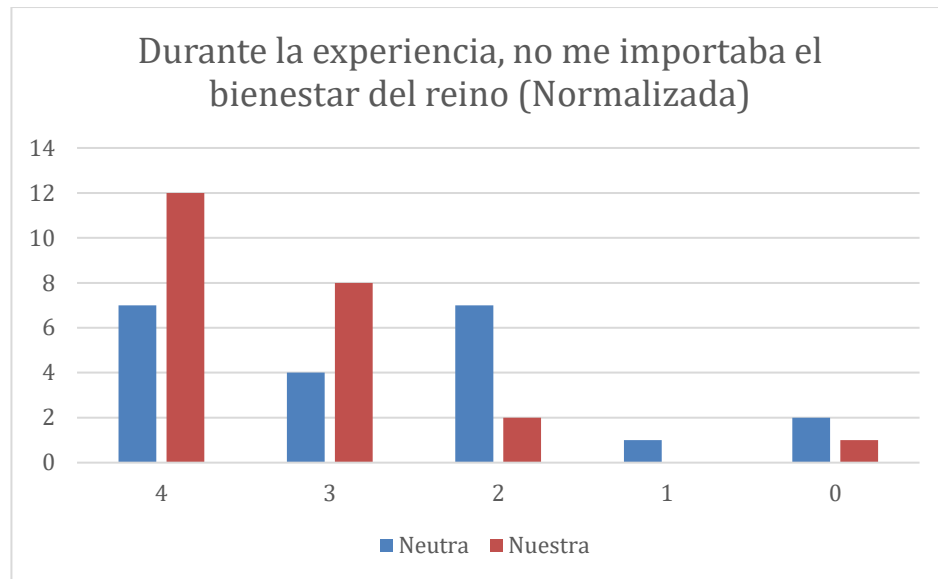


Ilustración 41: Gráfica con los resultados numéricos normalizados de "Durante la experiencia, no me importaba el bienestar del reino".

A raíz de este análisis hemos podido comprobar la relación existente entre la narrativa, la sensación de *self-presence* y el *virtual embodiment*. Podemos confirmar que cuando un usuario es más consciente de quién es su avatar en el mundo virtual, aumenta su vinculación emocional con el personaje y, a su vez, su sentimiento de *virtual embodiment*.

5. CONCLUSIONES

En este trabajo hemos explorado los conceptos de *virtual embodiment* y *self-presence* en el contexto de una experiencia de realidad virtual. Nuestro objetivo principal ha sido investigar cómo la narrativa de la experiencia inmersiva puede influir en la sensación de encarnación en los usuarios y si a través de la narrativa y la identificación del personaje se puede mejorar la experiencia de *virtual embodiment*.

Para alcanzar nuestros objetivos, hemos llevado a cabo un exhaustivo período de investigación y análisis de *papers* y documentos relacionados con el tema. Lo que nos ha permitido extraer las primeras conclusiones y orientar nuestra investigación de manera efectiva.

A partir de este conocimiento adquirido, hemos diseñado un experimento en Unity a partir de dos escenas diferentes, la escena Nuestra contiene diferentes elementos que potencian mediante narrativa inmersiva la sensación de *self-presence*, mientras que la escena Neutra no incluye ninguno de estos cambios y sirve como control. Para llevar a cabo este proyecto, hemos contado con un equipo multidisciplinar compuesto por modeladores, diseñadores y desarrolladores, quienes han colaborado estrechamente en la creación del entorno virtual.

Los resultados obtenidos a través del experimento respaldan nuestra hipótesis inicial, si bien es necesario un estudio estadístico más profundo para ver si las diferencias obtenidas son estadísticamente significativas. Hemos observado que, al potenciar la narrativa y la identificación del usuario con el avatar, se produce un incremento en la sensación de *virtual embodiment*. La introducción de elementos narrativos y la conexión emocional con el avatar controlado han demostrado ser factores clave para mejorar la experiencia inmersiva y fortalecer la sensación de presencia en el mundo virtual.

Estos hallazgos no solo contribuyen al avance de la investigación en el campo de la realidad virtual, sino que también ofrecen nuevas perspectivas para el diseño de experiencias inmersivas más envolventes y satisfactorias. El estudio realizado

proporciona una base para futuras investigaciones y desarrollos en el ámbito del *virtual embodiment* y la creación de narrativas en el contexto de la realidad virtual.

En resumen, esta investigación nos ha permitido profundizar en los conceptos de *virtual embodiment* y *self-presence*, y ha demostrado la importancia de la narrativa y la identificación con el avatar en la mejora de la experiencia de realidad virtual. Los resultados obtenidos respaldan nuestra hipótesis inicial y abren nuevas oportunidades para la creación de experiencias más inmersivas y emocionantes.

Además de los logros alcanzados en este proyecto, existen varias áreas de investigación y desarrollo que se pueden explorar en el futuro. En primer lugar, sería interesante llevar a cabo un estudio estadístico más minucioso para analizar en profundidad los resultados obtenidos. Esto permitiría determinar con mayor precisión la influencia de la narrativa en la sensación de *virtual embodiment* y establecer la significancia estadística de las diferencias observadas.

Otro aspecto interesante que considerar sería la relación entre la personalidad de los individuos y su respuesta a la experiencia de realidad virtual. Se sugiere realizar una comparación entre los resultados de un pretest de personalidad que fue realizado durante el transcurso de las pruebas y los datos del experimento. Esto proporcionaría información valiosa sobre cómo diferentes rasgos de la personalidad podrían influir en la respuesta a la exposición a narrativa inmersiva y en la experiencia de la sensación de *virtual embodiment*.

Además, podría ser pertinente la escritura de un artículo científico que detallase los resultados y conclusiones de este estudio. Compartir los hallazgos con la comunidad académica y científica permitiría contribuir al avance de la investigación en el campo de la realidad virtual, fomentando la discusión y el intercambio de ideas con otros investigadores.

6. REFERENCIAS

6.1 Bibliografía

- B. G. Witmer, M. J. (1998). Measuring presence in virtual environments: A presence questionnaire. *Presence : Teleoperators and Virtual Environments*, 225-240.
- C. Garre, F. H. (2011). Interactive simulation of a deformable hand for haptic rendering. *IEEE World Haptics Conference*, 239-244.
- D. Pinto-Fernandez, D. T.-V. (2020). Performance Evaluation of Lower Limb Exoskeletons: A Systematic Review. *IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering*, 1573-1583.
- D. Rojo, J. M. (2019). A Virtual Reality Training Application for Adults with Aspergers Syndrome. *IEEE Computer Graphics and Applications*.
- D. Roth, M. E. (2020). Construction of the Virtual Embodiment Questionnaire (VEQ). *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*.
- E. Guijarro, L. R. (2021). Virtual Trasplant Reality: Herramienta Psicológica que promueve el bienestar emocional y mejora la calidad de vida de los niños con trasplante pediátrico y sus familias. *XXV Congreso de la Sociedad Española de Pediatría Social*.
- J. O. Bailey, J. N. (2016). When Does Virtual Embodiment Change Our Minds? *Presence*, 222-233.
- K. Tcha-Tokey, E. L.-E. (2016). A questionnaire to measure the user experience in immersive virtual environments. *VRIC '16: Proceedings of the 2016 Virtual Reality International Conference*, 1-5.
- L. Raya, J. J. (2021). Virtual Reality Application for Fostering Interest in Art. *IEEE Computer Graphics and Applications*, 106-113.
- L. Raya, J. J. (2023). Development of a Virtual Reality Tool for the Treatment of Paediatric Patients in the ICU. *IEEE Computer Graphics and Applications*, 1-9.
- L. Raya, S. B. (2014). A new user-adapted search haptic algorithm to navigate along filiform structures. *IEEE Transactions on Haptics*, 273-284.
- M. Matamala-Gómez, T. D.-V. (2019). Immersive Virtual Reality and Virtual Embodiment for Pain Relief. *Frontiers in Human Neuroscience*.

- M. Slater, B. L.-V. (2009). How we experience immersive virtual environments: The concept of presence and its measurement. *Anuario de Psicología*, 193-210.
- M. Slater, K. K. (2012). The Sense of Embodiment in Virtual Reality. *Presence*, 373-387.
- M. Slater, M. V.-V. (2016). Enhancing Our Lives with Immersive Virtual Reality. *Frontiers in Robotics and AI*.
- M. Slater, S. N. (2019). An experimental study of a virtual reality counselling paradigm using embodied self-dialogue. *Sci Rep*.
- R. Buselle, H. B. (2009). Measuring Narrative Engagement. *Media Psychology*, 321-347.

6.2 Webgrafía

- Grapsas, T. (2021). Conoce la realidad aumentada y las posibilidades de interacción que la hacen sobresalir en el mundo digital. *Rock Content - ES*.
<https://rockcontent.com/es/blog/realidad-aumentada/>
- Hernández, M. D. (2021). ¿En qué consiste la teoría del valle inquietante?
Hipertextual. <https://hipertextual.com/2015/08/teoria-del-valle-inquietante>
- IDC - AR & VR Headsets Market Share. (s. f.). IDC: The premier global market intelligence company. <https://www.idc.com/promo/arvr>
- igroup presence questionnaire (IPQ) overview / *igroup.org – project consortium*.
(s. f.). <http://www.igroup.org/pq/ipq/index.php>
- Qianw. (2023, 21 marzo). ¿Qué es la realidad mixta? - *Mixed Reality*. Microsoft Learn. <https://learn.microsoft.com/es-es/windows/mixed-reality/discover/mixed-reality>
- Rus, C. (2020). Oculus Quest 2: una versión más ligera con mejor resolución, 90Hz y un precio de salida de 299 dólares. *Xataka*. <https://www.xataka.com/otros-dispositivos/oculus-quest-2-caracteristicas-precio-ficha-tecnica>

7. ANEXOS

7.1 Anexo I: Cuestionario de Implicación Narrativa

1. Tipo de experiencia [Neutra o Nuestra].
2. Los movimientos del avatar parecían ser mis propios movimientos [1 al 5].
3. No tenía la sensación de estar provocando el movimiento del avatar [1 al 5].
4. Tenía la sensación de controlar el movimiento del personaje [1 al 5].
5. Tenía la ilusión de tener habilidades diferentes a las mías propias [1 al 5].
6. Tenía la ilusión de tener rasgos de personalidad diferentes a los míos [1 al 5].
7. No sentí motivación para comportarme de acuerdo con las habilidades de mi avatar [1 al 5].
8. Sentí la necesidad de saber más sobre mi avatar para saber cómo comportarme en el mundo virtual [1 al 5].
9. Tuve la sensación de que mis acciones no eran coherentes con la identidad de mi avatar [1 al 5].
10. En ningún momento me costó entender qué estaba pasando en la experiencia [1 al 5].
11. Entiendo bien quién es el avatar [1 al 5].
12. Me ha costado concentrarme en la experiencia [1 al 5].
13. Durante la experiencia, sentí que estaba en el espacio de la ficción y no en el real [1 al 5].
14. Durante la experiencia, cuando el avatar tenía éxito en las pruebas, me sentía bien [1 al 5].
15. Durante la experiencia, cuando el avatar fracasaba en una prueba, me sentía mal [1 al 5].
16. Durante la experiencia, sentí diferentes emociones como si fuera el avatar [1 al 5].
17. Sé que mi avatar es... [Rellenar con palabras].
18. Durante la experiencia, sentí preocupación por la salud del rey y me sentía motivado para ayudar a curarle [1 al 5].
19. Durante la experiencia, quería que el avatar aprendiera nuevas habilidades mágicas [1 al 5].
20. No sentí ningún vínculo emocional con el rey que me motivase a superar las pruebas para poder salvarlo [1 al 5].

21. Sentí que mi avatar era alguien importante para el rey o una persona influyente en el reino [1 al 5].
22. Durante la experiencia, no me importaba el bienestar del reino [1 al 5].