BACHELOR´S THESIS / ENGINEERING 2024

Estudio del malestar producido por el desplazamiento de la cámara en vídeos 360 y en realidad virtual

Yunchao Wei

Universitat Pompeu Fabra
Barcelona

Estudio del malestar producido por el desplazamiento de la cámara en vídeos 360 y en realidad virtual

TRABAJO FINAL DE GRADO DE

[Yunchao Wei]

Directores: Alan Tapscott Baltar, Alejandro Ríos Jerez y Eva Monclús Lahoya

Grado en Ingeniería en Informática

Curso 2023-2024

Universitat Pompeu Fabra Barcelona
Escola d'Enginyeria

Agradecimientos

En primer lugar, me gustaría expresar mi más sincero agradecimiento a mi director de tesis, el tutor Alejandro Ríos Jerez, de la Universitat Politècnica de Catalunya, por su desinteresada ayuda y orientación a lo largo de todo el proceso de mi tesis. El tutor Alejandro no sólo me proporcionó profundos conocimientos y valiosos consejos académicos, sino que también me apoyó y animó pacientemente en todo momento cuando encontré dificultades. Sin su ayuda, no habría podido terminar esta tesis.

También me gustaría dar las gracias a mi supervisora asociada, la tutora Eva Monclús Lahoya, también de la Universitat Politècnica de Catalunya, por su gran ayuda y apoyo durante mi investigación. Su rica experiencia académica y su rigurosa actitud académica han sido una guía importante para la dirección y metodología de mi investigación.

Además, me gustaría expresar mi especial agradecimiento a mi tutor en la Universitat Pompeu Fabra, el tutor Alan Tapscott Baltar, que ha sido de gran ayuda y apoyo durante mis estudios de licenciatura e investigación. El tutor Alan no sólo me ha proporcionado una base sólida académicamente, sino que también me ha proporcionado un asesoramiento inestimable a la hora de elegir y llevar a cabo mi proyecto de graduación.

Por último, me gustaría dar las gracias a mi familia y amigos por su inagotable apoyo y ánimo durante la realización de esta licenciatura. Sin su comprensión y apoyo, no habría podido completarlo con éxito.

Gracias a todos los que me han ayudado en este viaje.

Resumen

Existen estudios que demuestran que la navegación en entornos de realidad virtual y la visualización de videos 360 pueden generar malestar (cybersickness) entre los participantes. Según la literatura, la altura de la cámara y la posición de los ojos puede producir este efecto. La presencia de un cuerpo virtual que represente a los participantes en este tipo de entornos puede mitigar este malestar. En este trabajo se presenta un experimento en el que el participante se mueve por un entorno de realidad virtual con diferentes configuraciones en la altura de la cámara y mostrando un cuerpo virtual. El objetivo principal es comprobar si la presencia del cuerpo virtual reduce el malestar provocado por la diferencia entre la altura real del participante y la altura de la cámara virtual. Con este experimento, comprobamos que la experiencia de la visualización de tener un cuerpo virtual era superior a la de no tenerlo cuando la altura de la cámara era superior a la de los propios participantes.

Resum

Hi ha estudis que demostren que la navegació en entorns de realitat virtual i la visualització de vídeos 360 poden generar malestar (cybersickness) entre els participants. Segons la literatura, l'alçada de la càmera i la posició dels ulls pot produir aquest efecte. La presència d'un cos virtual que representi els participants en aquest tipus d'entorns pot mitigar aquest malestar. En aquest treball es presenta un experiment en què el participant es mou per un entorn de realitat virtual amb diferents configuracions a l'alçada de la càmera i mostrant un cos virtual. L'objectiu principal és comprovar si la presència del cos virtual redueix el malestar provocat per la diferència entre l'alçada real del participant i l'alçada de la càmera virtual. Amb aquest experiment, comprovem que l'experiència de la visualització de tenir un cos virtual era superior a la de no tenir-ne quan l'alçada de la càmera era superior a la dels participants.

Abstract

There are studies that show that navigating in virtual reality environments and viewing 360 videos can generate discomfort (cybersickness) among participants. According to the literature, the height of the camera and the position of the eyes can produce this effect. The presence of a virtual body representing the participants in this type of environment can mitigate this discomfort. In this paper we present an experiment in which the participant moves through a virtual reality environment with different configurations in camera height and showing a virtual body. The main objective is to test whether the presence of the virtual body reduces the discomfort caused by the difference between the participant's actual height and the height of the virtual camera. With this experiment, we found that the experience of visualization of having a virtual body was superior to that of not having one when the height of the camera was higher than that of the participants.

Índex

Introducción 1
1.1 Tecnologías de Realidad Virtual: Casco, Vídeo de 360 Grados, Entornos Virtuales, Altura de la Cámara, Posiciones de los ojos y Cybersickness 1
Trabajo previo 5
2.1 Artículos relacionados 5
2.2 Aspectos centrales relevantes a la altura de la cámara en la experiencia del usuario en entornos de realidad virtual 7
Propuesta de solución 9
3.1 Primera iteración de la implementación 9
3.2 La segunda iteración de la Implementación 15
3.3 La tercera iteración de la Implementación 17
3.4 Experimento 19
Conclusiones y trabajo futuro 22
4.1 Conclusiones 22
4.2 Trabajo futuro 23
Bibliografia 24

Lista de figuras

Imagen 1 **9**
Imagen 2 **10**
Imagen 3 **10**
Imagen 4 **11**
Imagen 5 **12**
Imagen 6 **12**
Imagen 7 **13**
Imagen 8 **14**
Imagen 9 **14**
Imagen 10 **14**
Imagen 11 **16**
Imagen 12 **16**
Imagen 13 **17**
Imagen 14 **17**
Imagen 15 **18**
Gráfica 1 **19**
Gráfica 2 **20**
Gráfica 3 **20**
Gráfica 4 **20**

Capítol 1

Introducción

Este trabajo explora tecnologías de realidad virtual para una experiencia inmersiva y sensorial a través de características como el seguimiento de la cabeza y la interactividad. Nuestro objetivo es **minimizar el malestar cuando la cámara virtual en videos 360 está situada por encima de la altura de los participantes**. La hipótesis principal es que **cuando esto sucede, la representación de los participantes en el entorno con un cuerpo virtual reduce el malestar**. También abordamos el video de 360 grados, que permite una visualización flexible y experiencias envolventes. Adicionalmente, discute los entornos virtuales y de cómo son vistos y experimentados cuando los utilizan los usuarios, proporcionando interacción y personalización. Finalmente, toca el tema de la cybersickness, un desafío emergente que afecta a algunos usuarios debido a la discrepancia entre la percepción visual y el movimiento físico real.

Centrámos en cuatro áreas clave: cascos de realidad virtual, vídeos de 360 grados, entornos virtuales, la altura de la cámara y posiciones de los ojos. El casco de RV (HMD de RV) proporciona una experiencia visual inmersiva con seguimiento de cabeza, controles manuales y efectos de sonido que mejoran la interactividad. Los vídeos de 360 grados ofrecen flexibilidad de visualización e interacción, permitiendo explorar perspectivas y contenidos en diversas áreas, como viajes y educación. Los entornos virtuales son altamente interactivos, inmersivos y personalizables, lo que los hace útiles para educación, entretenimiento, y más. La altura de la cámara en fotografía, cine, RV y vídeo de 360 grados influye significativamente en la percepción del espectador, siendo esencial para una experiencia visual confortable. También se aborda el fenómeno del cybersickness, destacando la importancia de superar este desafío sensorial para una experiencia de RV más cómoda. Por último, se analizan las tecnologías necesarias para este experimento en relación con el Unity Engine, el Body Tracking y la cinemática inversa.

1.1 Tecnologías de Realidad Virtual: Casco, Vídeo de 360 Grados, Entornos Virtuales, Altura de la Cámara, Posiciones de los ojos y Cybersickness

Casco de Realidad Virtual

También llamado como HMD de RV, es un dispositivo portátil utilizado para la experiencia de realidad virtual que funciona llevándolo puesto en la cabeza del usuario, cubriéndolo a los ojos. Este dispositivo suele contener dos pequeñas pantallas de visualización orientadas hacia los dos ojos del usuario, así como sensores que pueden seguir el movimiento de la cabeza y una variedad de otros tipos diferentes de sensores, lo que permite al usuario observar e interactuar de forma natural con cosas virtuales en un espacio virtual tridimensional. Sus principales características son cuatro: experiencia inmersiva, seguimiento de la cabeza, interactividad y efectos de sonido. Al simular el campo de visión del usuario, los cascos de RV proporcionan una experiencia totalmente inmersiva que hace que el usuario se sienta como si estuviera en un entorno virtual completamente distinto. Los sensores incorporados siguen los movimientos de la cabeza del usuario, incluida la rotación (mirando arriba y abajo, a izquierda y derecha) y la traslación (moviéndose adelante y atrás, arriba y abajo, a izquierda y derecha), permitiendo que la perspectiva del usuario cambie a medida que mueve la cabeza, añadiendo realismo a la experiencia. Además, algunos cascos de RV incorporan mandos u otros dispositivos de entrada que permiten al usuario interactuar con el entorno virtual, como moverse, agarrar objetos o realizar acciones específicas. Por último, muchos dispositivos también incluyen

auriculares o capacidades de salida de audio que proporcionan efectos de audio estéreo o espacial para mejorar la inmersión en el entorno virtual.

Vídeo de 360 grados

Un vídeo de 360 grados es un formato de vídeo creado capturando el entorno en todas las direcciones simultáneamente, lo que permite al espectador la libertad de cambiar de perspectiva. Este tipo de vídeo se suele capturar con un sistema de cámaras con varias lentes, y después se utiliza un software para unir los distintos ángulos en un vídeo panorámico continuo. Al ver un vídeo de 360 grados, los usuarios pueden girar hacia arriba, abajo, izquierda, derecha o incluso darse la vuelta completamente para mirar en todas direcciones desde un punto central, como si estuvieran realmente en la escena que se muestra en el vídeo. Tiene tres características principales: experiencia inmersiva, interactividad y visualización flexible. El vídeo de 360 grados proporciona una experiencia visual muy inmersiva, en la que el espectador puede sentirse como si estuviera realmente en la escena que se muestra. Aunque el vídeo de 360 grados está pregrabado, ofrece la posibilidad de interacción, permitiendo al espectador elegir la perspectiva y el contenido que le interesan, con cierto grado de autonomía. Además, el vídeo de 360 grados puede verse en diversos dispositivos, como ordenadores, teléfonos inteligentes, tabletas y cascos especializados en RV. Al utilizar un smartphone o una tableta, el usuario puede cambiar el ángulo de visión moviendo el dispositivo, mientras que con gafas de realidad virtual es posible ver el entorno moviendo la cabeza.
Sus ámbitos de aplicación son, por ejemplo, los viajes y la aventura, donde el vídeo de 360 grados permite al usuario experimentar una visión global de sitios lejanos o lugares de difícil acceso. También puede utilizarse en educación y formación. El formato de vídeo puede utilizarse para crear materiales didácticos más interactivos y envolventes, como visitas virtuales a lugares históricos o simulaciones de flujos de trabajo complejos. Además, también se utiliza en el sector del entretenimiento como por ejemplo en conciertos, eventos deportivos y producción cinematográfica, donde el vídeo de 360 grados ofrece una nueva experiencia de visionado. Las organizaciones de noticias y los directores de documentales también utilizan el vídeo de 360 grados para ofrecer una experiencia informativa más profunda y envolvente. O en el caso de los agentes inmobiliarios, que utilizan el vídeo de 360 grados para ofrecer a los posibles compradores una visión global del interior de una vivienda, sobre todo si el comprador no puede acudir en persona.

Entorno Virtual

Los entornos virtuales son entornos simulados creados mediante tecnología informática que pueden imitar las propiedades del mundo real o construir mundos completamente fantásticos. Estos entornos son tridimensionales y proporcionan una experiencia de inmersión al usuario, permitiéndole sentirse como si estuviera situado en un entorno creado por software. A través de los entornos virtuales, los usuarios pueden interactuar con elementos del entorno, realizar tareas e incluso comunicarse con otros usuarios.
Entre sus principales características se encuentran su alto grado de interactividad e inmersión. Los entornos virtuales permiten a los usuarios interactuar con los objetos del entorno de forma natural, lo que incluye moverlos, cogerlos y manipularlos. Una de las principales características de los entornos virtuales es la inmersión del usuario, que puede sentir que está realmente presente en el entorno gracias a la información visual, auditiva e incluso táctil. Además, los usuarios pueden moverse y explorar libremente en el entorno virtual sin las limitaciones físicas del mundo real. La personalización es también una característica muy importante. En los entornos virtuales es posible diseñar y personalizar el entorno según las necesidades, ya sea para reproducir un escenario del mundo real o para crear un mundo completamente nuevo.
Se utiliza en campos tan diversos como la educación y la formación, el entretenimiento, la investigación científica, la socialización y las conferencias.

La altura de la cámara

La altura de la cámara se refiere a la distancia vertical del centro del objetivo de la cámara con respecto al suelo o al sujeto. En fotografía, producción cinematográfica, realidad virtual (RV) y rodaje de vídeos de 360 grados, la altura de la cámara es crucial para determinar la perspectiva y la experiencia del espectador. Dependiendo de la altura de la cámara, la misma escena puede presentar efectos visuales y expresiones emocionales completamente diferentes.
La altura de la cámara tiene diferentes aplicaciones e importancia en distintos campos. En la fotografía y el cine tradicionales, la altura de la cámara puede influir en el estado de ánimo y la narrativa de la obra. Un ángulo alto (que dispara desde arriba y desde abajo) puede transmitir una sensación de observación o control, mientras que un ángulo bajo (que dispara desde abajo y desde arriba) puede dar la impresión de amenaza o heroísmo. Un ángulo medio proporciona una perspectiva más neutra o naturalista. En los entornos de realidad virtual, sin embargo, la altura de la cámara puede tener un impacto directo en la inmersión y la comodidad del usuario. Una altura de cámara inadecuada puede causar incomodidad o alienación, mientras que una altura adecuada puede hacer que los usuarios se sientan más naturales, como si realmente estuvieran de pie en ese mundo virtual. Por último, en la producción de vídeo de 360 grados, la altura de la cámara determina la perspectiva inicial del espectador sobre la escena. Una altura adecuada permite al espectador explorar el entorno del vídeo con mayor naturalidad, mientras que una altura inadecuada puede limitar la experiencia visual e incluso provocar vértigo o incomodidad.

Posición de los ojos

En los dispositivos de realidad virtual (RV) montados en la cabeza (HMD), la medición y calibración precisas de la posición de los ojos son extremadamente importantes, lo que afecta directamente a la experiencia visual y la comodidad del usuario. Los siguientes aspectos que detallan la importancia de la posición de los ojos: La posición de los ojos determina la distancia y el ángulo entre los ojos del usuario y la pantalla del HMD, lo cual es crucial para la claridad visual. Si la posición de los ojos no está correctamente calibrada, puede producirse una imagen borrosa que afecta la claridad y el detalle de la presentación, especialmente en aplicaciones que requieren imágenes de alta definición. Además, la posición de los ojos afecta la amplitud del campo de visión (FOV), y una posición correcta maximiza el campo de visión, mejorando la inmersión del usuario. La comodidad del usuario también depende de la correcta posición de los ojos, ya que una posición incorrecta puede provocar fatiga visual, dolores de cabeza y vértigo. La visión estereoscópica, que utiliza dos pantallas para crear efectos visuales 3D, también requiere una calibración precisa para garantizar la alineación correcta de las imágenes vistas por ambos ojos, proporcionando una experiencia 3D realista. Por último, muchos dispositivos avanzados de RV están equipados con tecnología de seguimiento ocular, que requiere mediciones precisas de la posición de los ojos para ajustar el enfoque del renderizado de imágenes y optimizar los recursos de procesamiento, mejorando así la experiencia del usuario mediante técnicas como el «renderizado de punto de vista», donde el sistema renderiza en alta resolución solo la parte de la imagen que el usuario está mirando.
Por lo tanto, para lograr el mejor efecto visual y la mejor experiencia de usuario, la posición de los ojos debe medirse y ajustarse con precisión durante el diseño y la configuración del casco de RV. Por eso se realizan estudios ergonómicos detallados al diseñar y fabricar los dispositivos de RV, para garantizar que el aparato pueda adaptarse a las características oculares de los distintos usuarios.

Cybersickness

O le llamamos el mareo cibernético es un fenómeno en el que los síntomas experimentados en un entorno virtual son similares a los del mareo por movimiento. Suele producirse cuando se utilizan

dispositivos de realidad virtual (RV), videojuegos o simuladores, debido a una incoherencia entre el entorno virtual que se ve y el movimiento real que siente el cuerpo.
El mareo cibernético se debe a un conflicto entre la percepción visual del cerebro humano y la percepción sensorial del cuerpo. En el mundo real, nuestra visión y nuestro sistema vestibular (que es la parte de nuestro oído interno responsable del equilibrio y la orientación espacial) suelen estar coordinados. Pero en un entorno virtual, es posible que te veas en movimiento mientras tu cuerpo está realmente inmóvil, y este desajuste puede causar malestar.

Unity Engine

Unity Engine desempeña un papel importante en el espacio de la Realidad Virtual (RV), ya que proporciona un conjunto completo de herramientas y plataformas para ayudar a los desarrolladores a crear experiencias de RV inmersivas. Con plugins y extensiones, los desarrolladores pueden añadir fácilmente funciones adicionales y admitir nuevos dispositivos de hardware. Además, Unity ofrece canalizaciones o pipelines de renderizado avanzadas (como URP y HDRP) que optimizan el procesamiento de gráficos para garantizar un funcionamiento fluido en los dispositivos de RV. Estos pipelines admiten efectos gráficos de alta calidad y técnicas de optimización del rendimiento como el renderizado diferido, el mapeado de luz y mucho más. Además, la tienda de activos de Unity proporciona un gran número de modelos, efectos de sonido, scripts y plug-ins preconstruidos, de modo que los desarrolladores pueden acceder rápidamente a los recursos que necesitan para ahorrar tiempo y costes de desarrollo. El editor de escenas de Unity admite un modelo de desarrollo WYSIWYG (del inglés What You See Is What You Get), lo que permite a los desarrolladores construir y ajustar escenas de RV directamente en el editor y previsualizar los efectos en tiempo real. Por último, Unity también se utiliza ampliamente en el campo de la educación y la formación, la tecnología de realidad virtual se puede utilizar para la formación de simulación, la educación a distancia y otros escenarios para mejorar el efecto de aprendizaje y la eficiencia de la formación.

Body Tracking

Es una tecnología que detecta y simula los movimientos corporales de un usuario para reproducirlos con precisión en un entorno virtual. Esta tecnología mejora la inmersión y la interactividad, permitiendo a los usuarios moverse, interactuar y jugar en espacios virtuales de forma natural.

La cinemática inversa (IK)

IK es una técnica de los gráficos por ordenador y la robótica que se centra en determinar cómo deben moverse todas las articulaciones de un efector final (por ejemplo, la mano de un robot o de un personaje) para llegar a una posición determinada. En pocas palabras, la cinemática inversa consiste en invertir cómo debe doblarse y girarse cada articulación para llegar a esa posición, sabiendo dónde debe estar la mano o la herramienta.

Capítol 2

Trabajo previo

Varios estudios han demostrado que cuando un usuario lleva un casco de Realidad Virtual mirando un video de 360° o estaando en un entorno virtual, las distintas alturas de la cámara influyen de forma diferente en su experiencia visual.

2.1 Artículos relacionados

Hemos estudiado los siguientes 8 artículos de investigación sobre la altura de la cámara en relación con los entornos virtuales:

The Effect of Camera Height, Actor Behavior, and Viewer Position on the User Experience of 360° Videos

Presentado en la 2019 IEEE Conference on Virtual Reality and 3D User Interfaces. El artículo explora los efectos de la altura de la cámara, la proximidad de los personajes en el vídeo y la posición de visualización del participante(de pie/sentado) en la experiencia del usuario al ver vídeos de 360° a través de una prueba con 24 participantes. Según los resultados de la prueba, la propia altura de los participantes casi no influye en la altura de la cámara que prefieren y en su experiencia. La altura ideal de la cámara es de unos 150 cm, lo que resulta cómodo tanto para participantes sentados como de pie. Además, el estudio concluyó que, si los personajes están cerca de la cámara o si la posición de la cámara es muy baja, esto puede tener un impacto negativo en la experiencia de visionado.

Feeling Small or Standing Tall? Height Manipulation Affects Speech Anxiety and Arousal in Virtual Reality

Este artículo fue publicado en National library of Medicine, marzo de 2023. Este artículo examinó los efectos de la manipulación de la percepción de la estatura (sentirse alto a sentirse bajo) en realidad virtual sobre la ansiedad verbal y las respuestas emocionales de los participantes al realizar una tarea de habla situacional estresante. Los resultados mostraron que los participantes que se sentían más altos sentían menos ansiedad y tenían niveles más bajos de excitación que los que se sentían más bajos, lo que sugiere que simples manipulaciones visuales (por ejemplo, un cambio en la perspectiva en primera persona) pueden ayudar a los individuos a reducir sus respuestas de estrés cuando se enfrentan a situaciones orientadas a la tarea.

User sensitivity to speed- and height-mismatch in VR

Este artículo fue publicado en julio de 2016 en ACM Symposium on Applied Perception. En la tercera prueba de este informe, los autores presentaron vistas alternativas de una escena virtual desde diferentes alturas del usuario. En esta prueba, los usuarios tenían que distinguir correctamente entre las vistas de la escena virtual presentadas a la altura correcta desde alturas más cortas y altas incorrectas. Los resultados mostraron que, de media, los usuarios eran conscientes del cambio de altura después de un cambio de sólo 5 cm en la altura virtual.

The Effects of Virtual Height Exposure on Postural Control and Psychophysiological Stress Are Moderated by Individual Height Intolerance

Este artículo fue publicado en Frontiers in Human Neuroscience, enero de 2022. Este artículo examina los efectos de la exposición a la altura en la realidad virtual sobre el control postural y las respuestas

psicofisiológicas al estrés y descubre que estos efectos están moderados por la tolerancia individual al miedo a la altura. El estudio muestra que las activaciones psicofisiológicas (por ejemplo, el aumento del estrés, la frecuencia cardiaca y la actividad eléctrica de la piel) resultantes de la exposición a la altura en entornos virtuales son más pronunciadas en las personas que tienen miedo a las alturas. Este estudio demostró movimientos posturales más rápidos y una disminución de las frecuencias bajas (<0,5 Hz) y un aumento de las frecuencias altas (>1 Hz) de las oscilaciones corporales durante la exposición a alturas virtuales en individuos con miedo a las alturas en comparación con individuos con poco miedo a las alturas, lo que sugiere que los individuos con miedo intenso a las alturas muestran una rigidez postural desadaptativa en presencia de alturas debido a la mayor contribución de las entradas visuales al control del equilibrio.

Empirically Evaluating the Effects of Eye Height and Self-Avatars on Dynamic Passability Affordances in Virtual Reality

Este artículo fue publicado en IEEE Conference on Virtual Reality and 3D user Interfaces, en 2023. Los autores hicieron una prueba para investigar cómo los avatares del mismo tamaño que el cuerpo del usuario, un 20% más bajos o un 20% más altos, afectan a los juicios de transitabilidad en entornos virtuales dinámicos. Los resultados muestran que el comportamiento de paso de los participantes es más regular y seguro con un cuerpo virtual y les ayuda a sincronizar sus movimientos con los estímulos externos más rápidamente que en ausencia de un cuerpo virtual.

Camera Heights in Cinematic Virtual Reality: How Viewers Perceive Mismatches Between Camera and Eye Height

Este artículo fue publicado en ACM Symposium on Applied Perception, 4 de enero de 2019. Al ver una película de 360° utilizando una pantalla montada en un casco (HMD), el espectador se siente dentro de la película y es capaz de experimentarla de una manera inmersiva. La cabeza del espectador está en la misma posición exacta en la que estaba la cámara cuando se grabó la escena. En una película tradicional, el espectador ve la película desde fuera, y la distancia entre la altura de los ojos y la de la cámara no supone ningún problema. Sin embargo, ver una película desde el punto de vista de la cámara a través de unos cascos puede plantear algunos problemas, por ejemplo, la altura de un objeto conocido puede irritar al espectador en los casos en que la altura de la cámara no se corresponda con la altura física de los ojos. El objetivo de esta prueba es investigar cómo afecta la posición de la cámara a la presencia, la incomodidad y la experiencia de usuario del espectador. Consideran varias posiciones de visualización, así como diferentes alturas de los ojos. Los resultados experimentales muestran que la diferencia entre la altura de la cámara y la de los ojos es más aceptable si la posición de la cámara es inferior a la propia altura. Además, se prefirió la posición sentada y fue más fácil adaptarse a ella que la posición de pie. Estos resultados pueden servir para mejorar las recomendaciones para los videos de 360°.

Am I Floating or Not? : Sensitivity to Eye Height Manipulations in HMD-based Immersive Virtual Environments

Este artículo fue publicado en "ACM Symposium on Applied Perception", 19 de septiembre de 2019. Este artículo explora los efectos de la manipulación de la altura de los ojos sobre el tamaño del objeto y la percepción de la distancia en realidad virtual (RV). Específicamente, examina cómo variar la altura de los ojos de los participantes en un entorno de RV afecta su juicio de si están flotando por encima o hundiéndose por debajo del piso virtual. El estudio comienza analizando cómo las experiencias inmersivas de RV se perciben normalmente desde una perspectiva en primera persona y cómo las diferencias entre las alturas simuladas de los ojos en la RV y las alturas reales de los ojos de los usuarios pueden dar lugar a errores de apreciación espacial. Estas discrepancias pueden producirse en diversos escenarios, como cuando varios usuarios comparten un mismo punto de vista o cuando las aplicaciones de RV no ajustan el punto de vista para los usuarios sentados. El objetivo de este artículo es comprender la sensibilidad de las personas a las diferencias entre las alturas real y virtual de los

ojos. El experimento consistió en una tarea de elección obligada en la que se pidió a los participantes que llevaban una pantalla montada en el casco (HMD) que juzgaran si sus pies "invisibles" flotaban por encima o por debajo del suelo virtual en diferentes desplazamientos de la altura de los ojos y entornos virtuales. Los resultados mostraron una ligera sobreestimación de la altura de los ojos, un punto subjetivo de equivalencia (PSE) cercano a cero y diferentes umbrales de detección en distintos entornos virtuales. El artículo analiza las funciones psicométricas ajustadas a los datos agrupados y las diferencias individuales observadas entre los participantes. Se llega a la conclusión de que la manipulación de la altura de los ojos en determinados rangos puede pasar desapercibida para el usuario, lo que proporciona ideas a los desarrolladores de RV sobre cómo utilizar eficazmente esta manipulación sin que se note.

Individual Differences in Embodied Distance Estimation in Virtual Reality

Este artículo fue publicado en "IEEE Xplore" el 23 de marzo de 2019. El estudio exploró importantes diferencias individuales en lo que las personas experimentan en una configuración de realidad virtual. El estudio llevó a cabo un experimento en el que un total de 20 participantes recibieron un avatar virtual que coincidía con sus proporciones y posteriormente se les pidió que caminaran a ciegas hacia un objetivo de RV colocado a 2.5 metros de distancia. En este tipo de configuración, las personas solían restar un 10% a la distancia cuando ven entornos virtuales a través de dispositivos de visualización montados en la cabeza. En consonancia con investigaciones anteriores, se descubrió que la subestimación de la distancia se reducía significativamente cuando los participantes experimentaban una mayor sensación de integración del avatar.

A partir los artículos anteriores, podemos ver que cuando los usuarios ven vídeos de RV o juegan a juegos de RV, si la altura del punto de vista de la cámara no coincide consigo misma, traerá diferentes niveles de impacto.
Según los resultados del primer artículo, cuando el usuario está cerca de la cámara o la posición de la cámara es muy baja, puede tener un impacto negativo en la experiencia de visualización.
Los resultados del artículo 2 sugieren que los usuarios sienten menos ansiedad cuando se sienten más altos. Por el contrario, si la altura de la cámara es menor, los usuarios se sienten más ansiosos.
Según los resultados del artículo 3, sabemos que los usuarios son muy sensibles a los ajustes de la altura de la cámara.
Según los resultados del artículo 4, las personas que tienen miedo a las alturas tendrán una reacción más intensa cuando se expongan a alturas virtuales.
Según los resultados del artículo 5, los usuarios que pueden verse con avatares mientras ven vídeos de RV tienen un comportamiento más regular y seguro al caminar.
Los resultados del artículo 6 mostraron que la diferencia entre la altura de la cámara y la de los ojos era más aceptable si la posición de la cámara era inferior a la propia altura. Además, se prefería la posición sentada y era más fácil adaptarse a ella que la posición de pie. Los resultados del artículo 7 sugieren que la manipulación de la altura de los ojos en determinados rangos puede pasar desapercibida para el usuario.
Los resultados del artículo 8 sugieren que cuando el usuario tiene una apariencia virtual que coincide con su altura, la subestimación de la distancia se reduce significativamente cuando el participante experimenta una mayor sensación de integración immersiva.

2.2 Aspectos centrales relevantes a la altura de la cámara en la experiencia del usuario en entornos de realidad virtual

Con el resumen anterior de 8 artículos, podemos entender que estos estudios exploraron los diversos efectos de la altura de la cámara en la experiencia del usuario en entornos de realidad virtual. A través de estos artículos, podemos extraer algunas conclusiones y hallazgos clave relevantes a nuestro foco de estudio, y los hemos resumido en los siguientes 8 puntos:

1. **Importancia de la altura de la cámara en el ángulo de visión**

Las diferentes alturas de la cámara pueden afectar significativamente a la experiencia visual del usuario en realidad virtual. Una altura ideal de la cámara (unos 150 cm) proporciona una experiencia visual cómoda tanto para los usuarios que están de pie como para los que están sentados. Las posiciones de cámara demasiado bajas o los personajes demasiado cerca de la cámara pueden afectar negativamente a la experiencia visual.

2. **Percepción de la altura y respuesta emocional**

En los entornos virtuales, cambiar la percepción de la altura del usuario mediante ajustes de perspectiva puede afectar significativamente a su respuesta emocional. Sentirse más alto puede reducir los niveles de ansiedad de los usuarios y los niveles de activación percibidos, lo que sugiere que la manipulación visual puede utilizarse como medio para aliviar la ansiedad en situaciones estresantes orientadas a tareas.

3. **Sensibilidad de los usuarios a los ajustes de altura**

Los usuarios son muy sensibles a los cambios de altura en los entornos virtuales, detectando incluso pequeños cambios (por ejemplo, de 5 cm). Esto acentúa la importancia del control preciso necesario para ajustar la altura de la cámara en el diseño de la realidad virtual.

4. **Miedo a las alturas y respuestas fisiológicas**

Las personas muy sensibles o con miedo a las alturas mostrarán respuestas fisiológicas más fuertes durante la exposición a alturas virtuales. Este hallazgo tiene importantes implicaciones para comprender la experiencia de los individuos en entornos virtuales, especialmente a la hora de diseñar aplicaciones destinadas a tratar, por ejemplo, el miedo a las alturas.

5. **Impacto de la identidad virtual**

Tener un avatar virtual que coincide con el tamaño corporal del usuario mejora el juicio de pasividad dinámica del usuario en entornos virtuales, lo que sugiere que la autorrepresentación del usuario es importante en la realidad virtual.

6. **Aceptación de las diferencias de altura de la cámara y de los ojos**

Es más probable que los usuarios acepten un punto de vista en el que la posición de la cámara es más baja que su altura personal, y es más probable que se adapten a una posición sentada en comparación con una posición de pie. Esto sirve de orientación para elegir la altura de las cámaras y los ángulos de visión al diseñar vídeos de 360° y otros contenidos de realidad virtual.

7. **Imperceptibilidad de la manipulación de la altura**

Ajustar la altura de los ojos dentro de un rango específico puede pasar desapercibido para el usuario. Esto ofrece a los desarrolladores de realidad virtual la posibilidad de ajustar el ángulo de visión sin afectar a la percepción del usuario.

8. **Identidad y estimación de la distancia**

La estimación de la distancia es más precisa cuando el usuario tiene una identidad virtual en la realidad virtual que coincide con su altura, lo que subraya la importancia de la percepción corporal de un individuo para la conciencia espacial en entornos virtuales.

Capítol 3

Propuesta de solución

Hemos creado un entorno virtual a través de *Unity Engine* que permitía a los usuarios tener un cuerpo virtual del personaje mientras llevaban un dispositivo de realidad virtual, y ajustamos la altura del cuerpo virtual y de la cámara para estudiar la experiencia visual global del usuario y analizar si el usuario experimentará menos malestar cuando se le diera un cuerpo virtual. Nuestra hipótesis era que el uso de un cuerpo humano virtual que representará al participante reduciría la incomodidad cuando la altura de la cámara virtual fuera diferente de la altura del participante.

3.1 Primera iteración de la implementación

Construcción de la habitación virtual

En primer lugar, tenemos que construir una escena virtual adecuada. Y también debíamos tener en cuenta que el usuario dispusiera de un espacio abierto lo suficientemente grande como para hacer las pruebas sin verse obstaculizado por los distintos muebles de la sala. Se nos ocurrió la idea de disponer de una habitación de 15 metros cuadrados en el centro de realidad virtual de la UPC (véase en la imagen 1).

Imagen 1. Habitación Cave de UPC

En base a resultados anteriores (Keskinen, 2019), consideramos el hecho de que la distancia se subestima cuando el usuario lleva un casco de realidad virtual. Por lo tanto, las cuatro paredes de la sala del mundo virtual deben estar en la misma posición como las cuatro paredes de la sala del mundo real. Imaginamos que el usuario comenzaría la prueba en un lugar específico de la sala, de modo que cuando la mano del usuario tocara la pared de la sala del mundo real, el usuario también vería, a través de la cámara de realidad virtual, que la mano del cuerpo virtual está tocando la pared de la sala del mundo virtual. Esto aumentará el factor de seguridad para evitar que el usuario se golpee contra la pared y mejorará la sensación de inmersión del usuario.

Como puede verse en la Imagen 2, en la escena virtual que construimos en el Unity Engine, hay una pequeña habitación de 2,5m x 5m con una mesa de comedor en el centro de la habitación, una mesa de café en el otro lado y un sofá en el lado opuesto de la mesa de café. En el mundo real, donde está colocado el sofá hay un escritorio.

De acuerdo con el propósito de nuestro experimento, no es necesario que el usuario interactúe con los muebles, porque al ver un vídeo de 360 grados, el espectador tampoco necesita tocar los objetos dentro del vídeo, sino que principalmente los observa con sus ojos. Las imágenes 3 y 4 muestran detalles del renderizado de la escena.

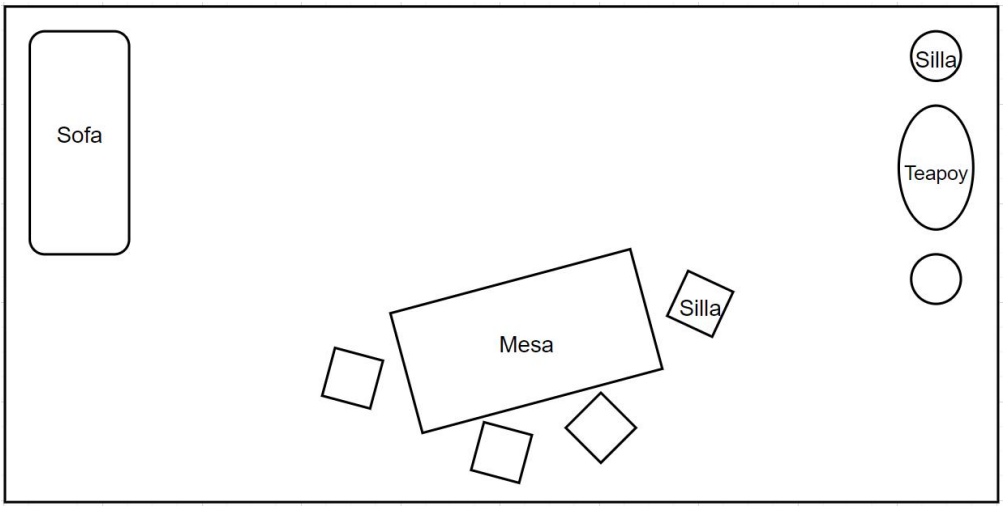


Imagen 2. Plano de la escena virtual

Imagen 3. Vista del interior de la escena

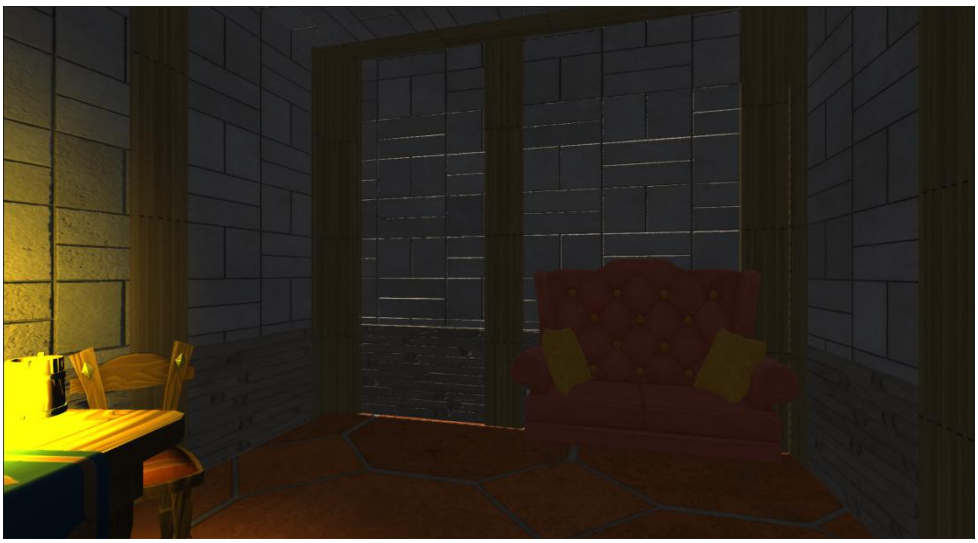


Imagen 4. Detalles del interior de la escena

Cuando el punto de vista del usuario se alinea con un objeto concreto de la escena durante un tiempo determinado, el objeto aparece seleccionado. Todos los objetos que pueden seleccionarse son: el pollo asado en la gran mesa del centro, la tetera en la mesa de café y los pequeños taburetes redondos a ambos lados de la mesa de café. La tetera sobre la mesa de centro, los taburetes pequeños a ambos lados de la mesa de centro. El cuadro está colgado sobre la mesa de centro. El sofá del otro lado. Además, hemos añadido una función de recuperación con un solo clic, en la que los bordes adicionales de todos los objetos seleccionados desaparecerán cuando pulsemos la tecla R. Y ahora es posible ser seleccionado repetidamente.

El participante en el experimento debe llevar un casco Meta 3 Oculus RV que preparamos y le ajustamos la altura. El experimento se dividió en con y sin cuerpo virtual, y cuando se ajustaba la altura de la cámara, los objetos del entorno virtual también se puedan ajustar o no (depende las fases del experimento), para obtener datos experimentales reales más detallados. Se pidió a los participantes que siguieran nuestras instrucciones para realizar una serie de acciones, como caminar por la escena virtual, girar el punto de vista de la cámara principal y mirar distintos objetos virtuales, tanto del suelo como en la pared. El experimento se detenía cuando el participante experimentaba síntomas como mareos, ganas de vomitar o cualquier efecto debido a la *Cybersickness*.

Además del desarrollo de juegos, el motor Unity tiene una amplia gama de aplicaciones en varios campos. Unity es una de las plataformas preferidas para el desarrollo de aplicaciones de realidad virtual y realidad aumentada, ya que ofrece una gran cantidad de herramientas y complementos compatibles con estas tecnologías.

Construcción del cuerpo virtual

El punto clave de nuestro experimento es construir un cuerpo virtual para el usuario. Esto permite al experimentador integrar sus acciones en el cuerpo virtual, de modo que el cerebro del experimentador piensa que el cuerpo virtual es su propio cuerpo.

El método utilizado para construir el cuerpo virtual es especialmente importante. Lo primero que me viene a la mente es la recién estrenada tecnología de *Body Tracking* de Meta, disponible a través de la documentación y los vídeos oficiales de Meta. Descubrimos que podemos hacer fácilmente la tecnología de Body Tracking en un cuerpo virtual de un carácter. Sin embargo, cuando llevamos a cabo las actividades relacionadas, nos encontramos con dificultades imprevistas. Intentamos varias maneras para encontrar la causa raíz, como tratar de cambiar toda la configuración del proyecto y la de las gafas Oculus Meta Quest 3, o recorrer la web en busca de varias páginas y vídeos relacionados.

Pero al final, no pudimos averiguar por qué el cuerpo del avatar no seguía las acciones del usuario mientras se ejecutaba el programa.

Tras debatirlo, decidimos no utilizar la técnica de Body Tracking, sino adoptar otro método igualmente eficaz: *la cinemática inversa*. Tras explorar parte de la documentación y los vídeos oficiales de Unity, descubrimos que Unity ha proporcionado una serie de SDK para que los desarrolladores implementen la cinemática inversa en personajes virtuales.

Elegimos utilizar uno de estos SDK, llamado Animation Rigging[1], que proporciona un conjunto de scripts que podemos utilizar. En primer lugar, descargamos un archivo de personaje FBX-suffixed T Pose para Unity desde el sitio web de Mixamo. Lo añadimos a nuestro proyecto unity y utilizamos el script Bone Renderer de Animation Rigging[2] para mostrar todos los huesos del personaje, poniéndolos en blanco para facilitar su visualización, (verse en la imagen 5).

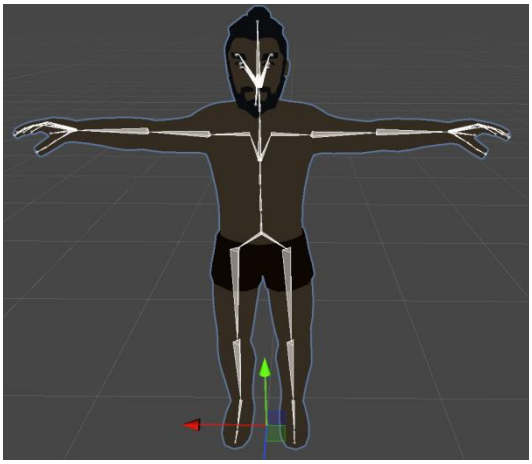


Imagen 5. Bone Renderer de Animation Rigging

Basándonos en lo que sabemos sobre la cinemática inversa, necesitamos unir los huesos de la cabeza, las dos manos y los dos pies para conseguir los mejores resultados. A continuación, utilizamos la técnica Two bone IK constraint[3] de Unity para unir los dos huesos de las manos, los dos pies y la cabeza (verse en la imagen 6). Mediante una serie de ajustes de parámetros, hemos maximizado la capacidad de las manos y los pies del personaje para seguir los movimientos del usuario. Así hemos resuelto la mayor dificultad que se nos presentaba en este experimento.

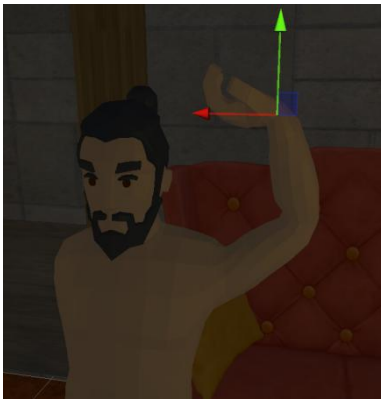


Imagen 6. El brazo sigue el movimiento de la muñeca (el punto de coordenadas Target de IK).

[1]https://docs.unity3d.com/Packages/com.unity.animation.rigging@1.2/manual/index.html
[2]https://docs.unity3d.com/Packages/com.unity.animation.rigging@1.1/api/UnityEngine.Animations.Rigging.BoneRenderer.html
[3]https://docs.unity3d.com/Packages/com.unity.animation.rigging@1.1/manual/constraints/TwoBoneIKConstraint.html

En robótica, la cinemática inversa permite a un robot manipular con precisión cada parte de su brazo o pierna para alcanzar una posición determinada. Por ejemplo, si se pide a un brazo robótico que recoja un objeto en un punto determinado del espacio, la IK calcula los ángulos de las articulaciones del hombro, el codo y la muñeca del robot para que el brazo pueda extenderse hasta ese punto.

En la animación por ordenador y el desarrollo de juegos, la IK se utiliza para la animación, sobre todo a la hora de crear movimientos de personajes más naturales y realistas. Con IK, es más fácil controlar los movimientos de modelos complejos, como caminar, correr o agarrar objetos. El animador sólo tiene que especificar la posición objetivo de la mano o el pie, y el sistema informático calcula automáticamente la pose adecuada para la extremidad.

En general, la cinemática inversa es una tecnología importante que hace que la animación y el control de robots sean más intuitivos y eficaces.

Métodos de observación de objetos virtuales

Nuestros experimentos detectan la sensación de experiencia y retroalimentación de los usuarios al ordenar al experimentador que mire distintos objetos virtuales. Por tanto, el método utilizado para observar los objetos es especialmente importante. Para conseguir una mayor sensación de inmersión, optamos por aportar feedback en tiempo real al experimentador mientras observa los objetos virtuales. Utilizamos el método técnico de Ray Cast[1], que emite un rayo en el vector frontal del dispositivo montado en la cabeza, y proporciona información al experimentador cuando este rayo se encuentra con el objeto virtual que hemos configurado.

Usamos un método que se ha utilizado en muchos juegos para detectar objetos, cuando el usuario observa un objeto que se puede seleccionar, aparecerá un círculo de UI encima del objeto, y en este círculo de UI habrá una barra cicular que sube gradualmente con el tiempo de observación. El valor va de 0 a 100 y el color aumenta lentamente con el valor, cambiando gradualmente de rojo a verde (verse en la imagen 7).

Imagen 7. Los anillos aumentan gradualmente al aumentar los valores.

Cuando el valor de la barra cicular llega a 100, significa que el objeto ha sido seleccionado completamente. En ese momento desaparece el círculo de UI y se añade un borde verde adicional al objeto seleccionado, esto es para que el usuario pueda saber claramente que el objeto está seleccionado (verse en la imagen 8).

[1]https://docs.unity3d.com/ScriptReference/Physics.Raycast.html

Imagen 8. El objeto seleccionado con borde verdad

Para que los objetos de la sala virtual sean más realistas, utilizamos modelos 3D para los objetos virtuales que se ven habitualmente en la vida cotidiana (verse en la imagen 9).
Y para distinguir estos objetos virtuales en el tratamiento posterior de los datos experimentales. Asignamos un número del identificador único a cada objeto.

Imagen 9. pollo asado, banquito redondo, sofá, tetera, taza de té y cuadro en la pared.

Ajuste de la altura del objeto

La altura de la cámara, así como las alturas de los objetos en la pared y los objetos en el suelo, pueden ajustarse en tramos incrementales con 5 opciones: 0 cm, 5 cm, 10 cm, 20 cm y 50 cm. Los controles para cambiar la altura son pulsando la tecla de flecha arriba del teclado para aumentar la altura y la tecla de flecha abajo para disminuirla. A medida que aumenta la altura del objeto y de la cámara, el usuario puede sentir más claramente que su altura aumenta progresivamente. En este caso, hemos hecho que sea sencillo aumentar la altura de objetos en la pared, mientras que los objetos en el suelo son un poco más complicados. En lugar de aumentar la altura de los objetos del suelo, escalamos de ellos hacia arriba, respecto al eje Y de *Unity*. Esto es para evitar una situación en la que los objetos en el suelo están flotando en el aire (verse en la imagen 10).

Imagen 10. objeto normal y mismo objeto escalado

Además, aumentamos la altura de la cámara en la misma medida en que se aumenta la altura del objeto. Por ejemplo, si el usuario mide 170 cm, y configuramos la tercera opción para ajustar la altura del objeto en 10 cm, entonces la altura de la vista del usuario será 170 cm + 10 cm = 180 cm.

Registros del comportamiento de los experimentadores

Durante el curso del experimento, grabamos el comportamiento del experimentador cada 0,5 segundos. Los datos registrados son la marca de tiempo, las coordenadas del experimentador en la sala virtual, las coordenadas de rotación de la cámara, el número del identificador del objeto en observación, el nombre del objeto en observación, la altura del objeto en observación y el valor de la observación del objeto en observación(que oscila entre el mínimo de 0 y el máximo de 100, como se ha descrito anteriormente). Guardamos estos datos en un archivo JSON cada vez del experimento que se utilizará posteriormente para peinar los resultados experimentales.

3.2 La segunda iteración de la Implementación

Cambio de modos de renderizado

Optamos por cambiar el renderizado normal de Unity utilizado en el proyecto a Universal Render Pipeline, URP[1].
URP tiene muchas ventajas, tiene un renderizado más eficiente, y también proporciona rutas de renderizado eficientes y optimizaciones que pueden reducir significativamente la latencia de renderizado. Reducir la latencia es muy importante en RV, ya que una latencia elevada puede provocar incomodidad y vértigo en el usuario. También admite efectos de iluminación y sombras de alta calidad, como la iluminación en tiempo real, la iluminación global y el mapeado de sombras, que pueden mejorar la calidad visual y el realismo de las escenas de RV. Por último, URP se diseñó teniendo en cuenta la compatibilidad multiplataforma y puede ejecutarse en múltiples plataformas, incluidos instalar en los cascos de RV, lo que garantiza que los proyectos de RV puedan ejecutarse en dispositivos distintos de los ordenadores. Con las diversas ventajas que aporta la URP, hace que nuestros experimentos funcionen bien y que la experiencia de los usuarios experimentales vaya en aumento.

[1]https://docs.unity3d.com/Packages/com.unity.render-pipelines.universal@17.0/manual/index.html

Optimización en el Ray Cast

En medio de las debugaciones de nuestro proyecto, descubrimos que no nos llevamos bien el casco de Meta Quest 3 cada vez. Esto hacía que hubiera momentos en los que los rayos del *Ray Cast* descrito anteriormente no salían del vector frontal delantero. Por lo tanto, añadimos una pequeña bola roja delante del objeto que toca el lanzamiento de rayos, y cuando la bola roja no esté delante de lo que ve el experimentador, significará que éste no lleva puesto correctamente el casco de Meta Quest 3 (verse en la imagen 11).

Imagen 11. El experimentador está observando la tetera

Del mismo modo, ajustamos el rayo de proyección a una distancia máxima, por defecto 2,5 metros. Esto se debe a que no queremos que el experimentador sólo observe los objetos de la sala virtual desde donde se encuentra, sino que pase por delante de los objetos para observarlos.

Optimización en los objetos escalables

Basándonos en nuestros experimentos internos preliminares, se comprobó que, en una serie de objetos virtuales con un aumento gradual de la altura de la cámara, se producía una grave deformación de los objetos. Esto puede verse en la imagen 12.

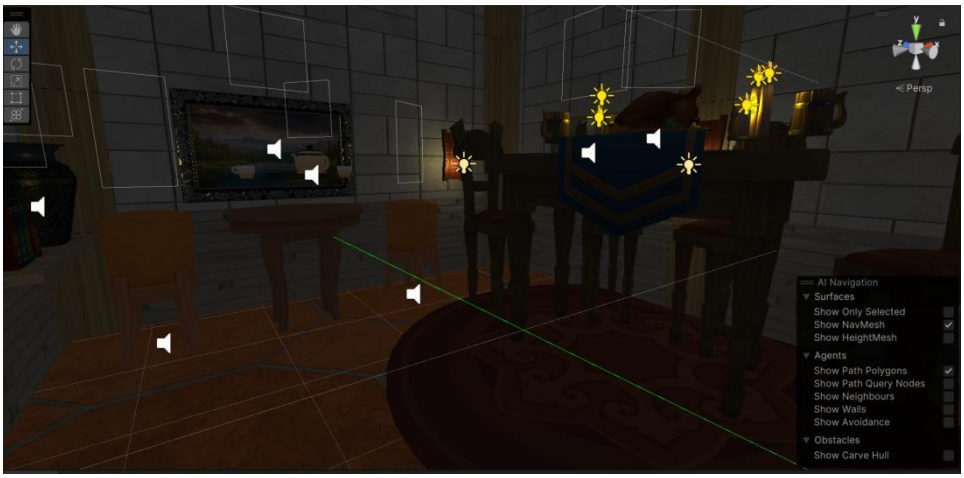


Imagen 12. deformaciones de los objetos escalados

Esto no era lo que necesitábamos, así que después de discutirlo con el tutor Alex, y la tutora Eva. Decidimos impedir que los muebles virtuales del suelo aumentaran con la altura de la cámara y, en su lugar, añadir algunos objetos virtuales de la pared, como 2 cuadros, 2 estanterías, 2 vasos de té, 1 tetera, unos libros y 1 jarrones. Además, nos dimos cuenta de que la luz de la sala virtual no era lo bastante potente, así que añadimos 6 lámparas adicionales en la pared como nueva fuente de luz. Y cambiarlos junto con la altura de la cámara. Esto puede verse en la imagen 13 y la imagen 14.

Imagen 13. objetos añadidos en la pared de la izquierda

Imagen 14. objetos añadidos en la pared de la derecha

Optimización de la altura de subida

En base a resultados anteriores (Weser, 2016), el experimentador puede sentir un cambio en la altura virtual de sólo 5 cm. Como resultado de la reunión, cambiamos las alturas de las subidas opcionales de 0 cm, 5 cm, 10 cm, 20 cm y 50 cm a una altura constante de 15 cm cada vez, manteniendo las mismas formas, lo que dio como resultado alturas finales de 0 cm, 15 cm, 30 cm, 45 cm y 60 cm. Esto era así porque cada cambio de altura creaba un mayor choque sensorial para el experimentador. Además, el resto del mobiliario virtual del suelo permaneció igual que en la Iteración 1, sin cambios.

3.3 La tercera iteración de la Implementación

Instalar la aplicación del proyecto en el casco de realidad virtual

Aunque hemos cambiado el modo de renderizado URP para que la latencia sea efectivamente menor. No obstante, a medida que aumentaba la capacidad del proyecto, seguían produciéndose situaciones de latencia inevitables, como que la pantalla no se moviera o que apareciera una pantalla en negro debido a la velocidad de frames reducida. Sería desastroso que la latencia se produjera con frecuencia en el experimento. Así que decidimos desarrollar el proyecto como una aplicación e instalarla en el casco de *Meta Quest 3*. De este modo se evitarán eficazmente todo tipo de retrasos como los

mencionados anteriormente, porque los datos ya están instalados en el casco, en lugar de recibirlos del ordenador a través de Bluetooth.

Y el proceso de instalación es bastante sencillo. Usamos la aplicación oficial de Oculus para instalar y gestionar la aplicación y otros archivos dentro del casco de RV, y simplemente conectamos el casco de RV al ordenador mediante un cable para hacerlo todo.

Crear Interfaz virtual

Como se mencionó anteriormente, hemos instalado la aplicación experimental en el casco del Meta Quest 3. Como ya no tenemos acceso al teclado, necesitamos hacer un cambio en la forma de controlar el cambio de altura. Hemos creado una interfaz virtual. Esto puede verse en la imagen 15.

Imagen 15. Interfaz virtual en la habitación

Utilizaremos el rayo del controlador del casco del Meta Quest 3 para seleccionar una altura y, a continuación, utilizaremos el controlador para pulsar el botón *Apply* para determinar la altura modificada. Y con el botón *Save* se genera un archivo de los datos del usuario con formato JSON.

Ajuste en cuerpo virtual

En nuestras pruebas internas, hemos observado que, a medida que aumenta la altura del cuerpo virtual, los brazos de éste también se alargan. Sin embargo, la diferencia entre la longitud del brazo del experimentador y la del brazo del cuerpo virtual es demasiado grande, lo que provoca que el *algoritmo IK* no pueda hacer que el brazo virtual realice movimientos naturales. Por lo tanto, después de discutir con nuestros tutores, decidimos mantener sólo las manos virtuales que vienen con Meta Quest 3 y ocultar los brazos y las manos del cuerpo virtual.

Por otro lado, nos dimos cuenta de que surgen dos problemas cuando el experimentador mira hacia arriba o hacia abajo, el primero es que penetra en el interior de la cara del cuerpo virtual. Así que ocultamos también la cabeza del cuerpo virtual. El segundo es que cuando el experimentador mira hacia abajo, los pies del cuerpo virtual aparecen flotando del suelo, encontramos que esto es debido al problema sobre los parámetros en el script del *algoritmo IK*, solucionamos este problema modificando los parámetros y parte del código.

3.4 Experimento

Metodología

Hemos realizado pruebas con cuatro participantes (denominados 01, 02, 03 y 04). Cada participante llevó a cabo dos grupos de pruebas, con cuerpo virtual y sin cuerpo virtual. Cada grupo de pruebas se realizó a cinco alturas diferentes, la altura 1 es la altura real del participante, la altura 2 es la altura real + 15 cm, la altura 3 es la altura real + 30 cm, la altura 4 es la altura real + 45 cm y la última altura 5 es la altura real + 60 cm.

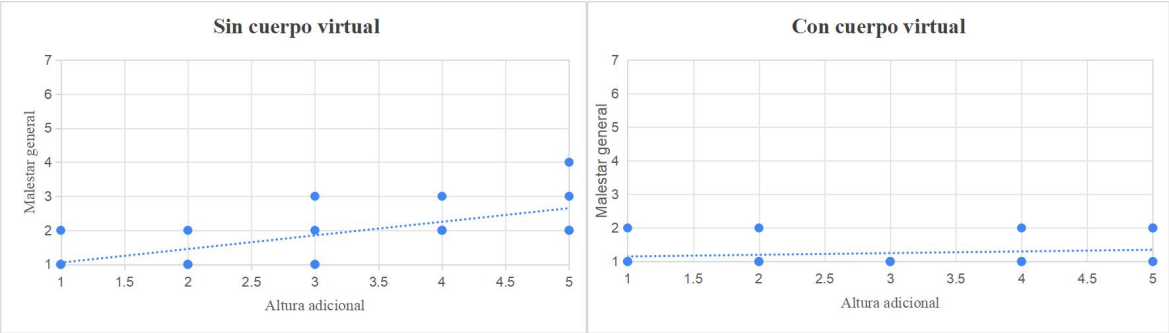
Antes de la prueba, explicamos al participante cómo debe observar el objeto y se le mostramos las imágenes 7 y 11. A continuación, se les dijo que, si notan síntomas como mareos o ganas de vomitar, pueden quitarse inmediatamente el casco de RV y detener la prueba.

Antes de la prueba, pedimos a los participantes que rellenen un cuestionario de los datos personales. El cuestionario está incluído en los apéndices. Durante cada prueba, los participantes llevaban *Meta Quest 3* y observaron 2 o 3 objetos específicos en una habitación virtual. Después de cada prueba, los participantes completaron cuestionarios que evaluaban sus síntomas de *cybersickness* y la sensación de presencia.

Resultados principales

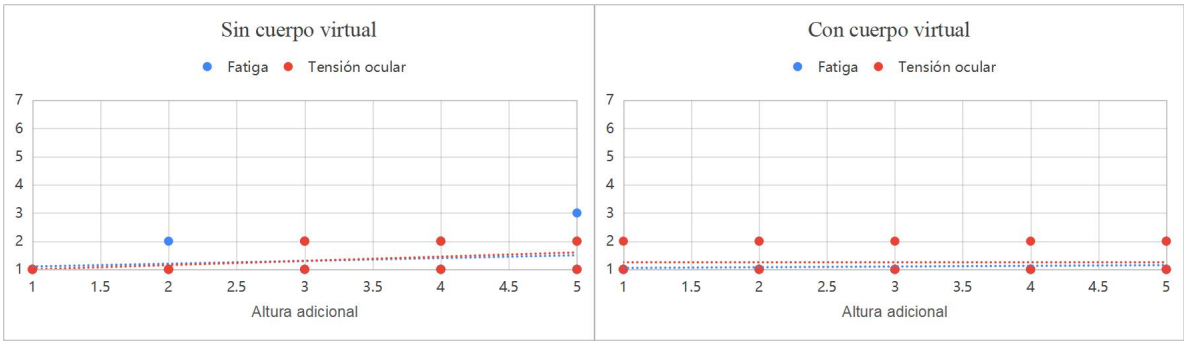
Sobre la base de las respuestas de los cuestionarios de todos los experimentadores, como se representa en el apéndice. Resumimos estas partes importantes del siguiente modo:

Se observó un incremento en el malestar general con el aumento de la altura. Los participantes reportaron mayor incomodidad cuando la cámara estaba en alturas superiores. Esto puede verse en la Gráfica 1.



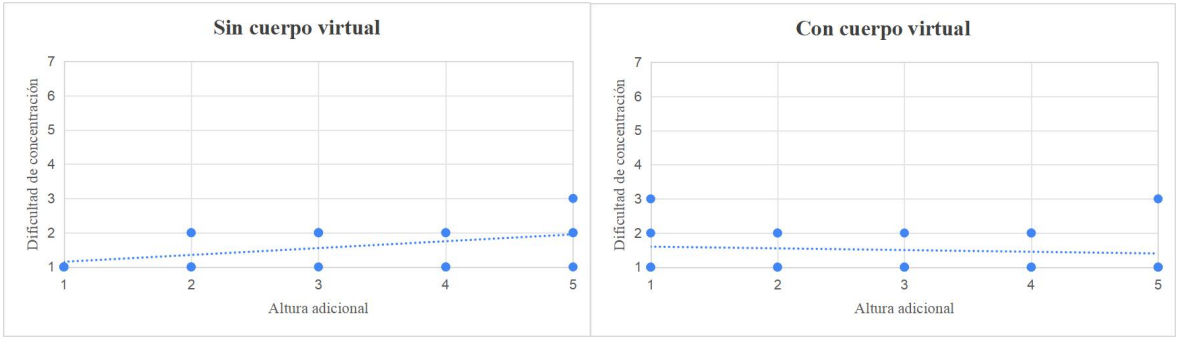
Gráfica 1. comparación de malestar general por altura adicional entre tener cuerpo virtual y sin tener cuerpo virtual

Los síntomas como fatiga y tensión ocular también mostraron una tendencia a aumentar con la altura de la cámara. La presencia de un cuerpo virtual pareció reducir estos síntomas en comparación con la ausencia de un cuerpo virtual. Esto está representado en la Gráfica 2.



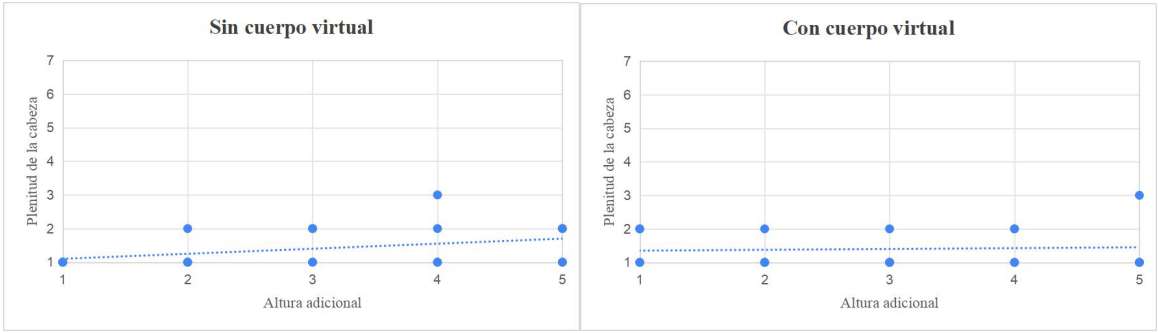
Gráfica 2. comparación de Fatiga y Tensión ocular por altura adicional entre tener cuerpo virtual y sin tener cuerpo virtual

La dificultad de concentración se redujo en presencia de un cuerpo virtual en comparación con su ausencia. En ausencia de un cuerpo virtual, los participantes pueden haberse sentido más desorientados, aumentando así la dificultad para concentrarse. Además, la dificultad de concentración aumentaba con la altura, especialmente en ausencia de un cuerpo virtual. Esto está representado en la Gráfica 3.



Gráfica 3. comparación de la dificultad de concentración por altura adicional entre tener cuerpo virtual y sin tener cuerpo virtual

La plenitud de la cabeza aumenta con la altura adicional, especialmente en ausencia de un cuerpo virtual. Sin embargo, la presencia de un cuerpo virtual ayuda a reducir la sensación de plenitud de la cabeza y mejora la comodidad del usuario. Esto está representado en la Gráfica 4.



Gráfica 4. comparación de la plenitud de la cabeza por altura adicional entre tener cuerpo virtual y sin tener cuerpo virtual

De las cuatro gráficas, la primera presenta la diferencia más obvia provocada por tener o no un cuerpo virtual. Las otras tres diferencias son más ligeras, pero en todas las gráficas podemos ver que tener los resultados de tener un cuerpo virtual es superior a no tenerlo.

Además, preguntamos a cada participante si tener o no un cuerpo virtual suponía alguna diferencia en el experimento, y si tener un cuerpo virtual ayudaba en el experimento. Estas fueron sus respuestas:

La participante 01 pensó que, en caso de no tener un cuerpo virtual, experimentaría mareos a medida que aumenta su altura, lo que a su vez le obligaría a tener más cuidado al caminar. En cambio, cuando hizo la prueba con el cuerpo virtual, se sintió más cómoda y caminar le resultó fácil. Tener un cuerpo virtual le dio más confianza en sus experimentos.

La participante 02 no sintió ninguna diferencia entre tener el cuerpo virtual y no tener el cuerpo virtual. Tampoco sintió síntomas como mareos.

Al tener un cuerpo virtual para las pruebas, la participante 03 no se dio cuenta de que la cámara estaba más alta de donde debería estar. Pensó que no se había dado cuenta porque veía el cuerpo virtual. La participante 03 sintió que el cuerpo virtual le ayudó durante el experimento. Especialmente cuando la altura era superior a la normal. Creía que ver el cuerpo virtual hacía que no sintiera la diferencia de altura.

El participante 04 dice que el cuerpo virtual le ha hecho sentir más seguro en general, verlo tocando el suelo ha ayudado a ir más rápido en el entorno. Cuánto más baja estaba la altura de la cámara, más seguro se sentía en el entorno y menos miedo le daba moverse, pero a pesar de esto sí que estar más bajo le hacía sentir un poco más de malestar general. En cuanto a si tener un cuerpo humano virtual es útil o no para realizar experimentos, él creía que cuando él tenía el cuerpo virtual, era mucho más fácil acostumbrarse al entorno fuera cual fuera la altura, a pesar de que al estar más cerca del suelo eso le hacía sentir más seguro. Solo la primera altura en el primer experimento con cuerpo le hizo sentir algo inseguro, pero en el resto se sentía más o menos bien. En el segundo experimento sin el cuerpo, a medida que iba subiendo le costaba más encajar y se asustaba un poco al andar con el vértigo y chocando con las cosas. A pesar de esto, cuando estaba muy cerca del suelo, se sentía muchísimo más seguro andando, a pesar de no tener el cuerpo virtual.

Por último, la sensación de presencia fue evaluada solo una vez por participante y mostró que los participantes se sentían más inmersos en el entorno cuando había un cuerpo virtual presente.

Capítol 4

Conclusiones y trabajo futuro

4.1 Conclusiones

Basándonos en los resultados del experimento, podemos ver que algunos de estos datos están muy relacionados con lo dicho en el trabajo previo. En primer lugar, **el malestar general aumenta con la altura adicional**, especialmente en ausencia de un cuerpo virtual. No obstante, **el rendimiento es mejor al tener un cuerpo virtual que en ausencia del mismo**. Esto coincide con el resultado de (Bhargava, 2023), que afirma que los cuerpos virtuales ayudan a aumentar la sensación de seguridad y la coordinación del comportamiento de los participantes y reducen la incomodidad. En segundo lugar, según las conclusiones de (Keskinen, 2019) y (Rothe, 2019), podemos saber que ambos hacen hincapié en el impacto de la altura de la cámara en la experiencia del usuario. Y esto se ve apoyado por el resultado de nuestros experimentos que muestran que **el aumento de la altura adicional provoca un mayor malestar para los usuarios**, especialmente cuando no hay cuerpo virtual.

En tercer lugar, en (Deng, 2019), se descubrió que los pequeños cambios en la altura virtual pueden pasar desapercibidos para los usuarios. En nuestros resultados experimentales, demostramos que los participantes no tendrían una percepción significativa de su cambio de altura en *las alturas adicionales de 1, 2 y 3*, apoyando así las conclusiones del estudio anterior. (Macey, 2023) demostró que los participantes que se percibían a sí mismos como más altos experimentan menos ansiedad y menos excitación en el entorno virtual. Nuestros resultados también muestran que **la presencia de un cuerpo virtual ayuda a reducir el malestar y mejorar la comodidad del usuario cuando la altura de la cámara es superior a la del participante**, lo que refleja el importante factor que tener un cuerpo virtual en la mejora de la experiencia del usuario.

Basándonos en los resultados del nuestro experimento, analizamos la evaluación de la sensación de presencia de cada participante. Vimos que **sólo un experimentador indicó que la presencia o ausencia de un cuerpo virtual no ayudaba al desarrollo del experimento**, creemos que puede deberse a que lleva mucho tiempo utilizando cascos de RV para jugar juegos y ya se ha adaptado en gran medida al entorno virtual (se representa su encuesta de los datos personales).

Por lo tanto, creemos que los resultados sugieren que **los participantes se sienten más inmersos en el entorno cuando la persona virtual está presente**. La inclusión de un cuerpo virtual parece reducir los síntomas de *cybersickness* y mejorar la experiencia general del usuario, proporcionando una mayor sensación de seguridad y confort. Además las pruebas indican que las alturas más elevadas incrementan los síntomas de *cybersickness*.

Sin embargo, cuando el experimento se realizaba a alturas tan elevadas como 1 a 3, no causaba molestias al experimentador cuando no estaba en posesión de un cuerpo virtual. En otras palabras, **no había mucha relación entre tener un cuerpo virtual o no y la altitud para estas alturas**.

Nuestros resultados validan aún más las conclusiones de estudios anteriores, así como nuestra hipótesis propuesta, destacando el importante factor que puede tener un cuerpo virtual para reducir el malestar, la incomodidad y mejorar la experiencia del usuario cuando aumenta su altura adicional. Los futuros vídeos de 360 grados, así como el diseño de entornos de realidad virtual, deberían prestar atención a la selección de la altura de la cámara y tener en cuenta la inclusión de cuerpos virtuales para optimizar la experiencia del usuario y reducir el malestar en entornos virtuales.

4.2 Trabajo futuro

Primero habría que aumentar el número de participantes para obtener resultados más robustos y generalizables. También se podría probar en diferentes entornos virtuales para evaluar si los resultados son consistentes. Por otro lado, sería importante extender la duración de las pruebas para observar si los síntomas de *cybersickness* cambian con el tiempo. También se podría investigar si los participantes se adaptan con el tiempo a las diferentes alturas y a la presencia del cuerpo virtual.

Sería necesario hacer un análisis de datos pendientes de formato JSON que están guardados para cada prueba. Con estos datos, se podría calcular la velocidad a la que el probador observa un objeto simulando una recreación de la escena experimental, con la posición y la rotación de la cámara que se cambia en cada 0.5 segundos, para saber si el cuerpo virtual le ha sido útil o no.

Bibliografia

Keskinen, T., Mäkelä, V., Kallioniemi, P., Hakulinen, J., Karhu, J., Ronkainen, K., Mäkelä, J., & Turunen, M. (2019, March). The Effect of Camera Height, Actor Behavior, and Viewer Position on the User Experience of 360° Videos. In 2019 IEEE conference on virtual reality and 3D user interfaces (VR) (pp. 423-430). IEEE.

Macey, A. L., Järvelä, S., Fernandez Galeote, D., & Hamari, J. (2023). Feeling Small or Standing Tall? Height Manipulation Affects Speech Anxiety and Arousal in Virtual Reality. Cyberpsychology, Behavior, and Social Networking, 26(4), 246-254.

Weser, V. U., Hesch, J., Lee, J., & Proffitt, D. R. (2016, July). User sensitivity to speed-and height-mismatch in VR. In Proceedings of the ACM Symposium on Applied Perception (pp. 143-143).

Bzdúšková, D., Marko, M., Hirjaková, Z., Kimijanová, J., Hlavačka, F., & Riečanský, I. (2022). The effects of virtual height exposure on postural control and psychophysiological stress are moderated by individual height intolerance. Frontiers in Human Neuroscience, 15, 773091.

Bhargava, A., Venkatakrishnan, R., Venkatakrishnan, R., Solini, H., Lucaites, K., Robb, A. C., Pagano, C. C., & Babu, S. V. (2023, March). Empirically evaluating the effects of eye height and self-avatars on dynamic passability affordances in virtual reality. In 2023 IEEE Conference Virtual Reality and 3D User Interfaces (VR) (pp. 308-317). IEEE.

Rothe, S., Kegeles, B., & Hussmann, H. (2019, June). Camera heights in cinematic virtual reality: How viewers perceive mismatches between camera and eye height. In Proceedings of the 2019 acm international conference on interactive experiences for tv and online video (pp. 25-34).

Deng, Z., & Interrante, V. (2019, September). Am I Floating or Not? : Sensitivity to Eye Height Manipulations in HMD-based Immersive Virtual Environments. In Acm symposium on applied perception 2019 (pp. 1-6).

Gonzalez-Franco, M., Abtahi, P., & Steed, A. (2019, March). Individual differences in embodied distance estimation in virtual reality. In 2019 IEEE Conference on Virtual Reality and 3D User Interfaces (VR) (pp. 941-943). IEEE.

Apéndice

1. Encuesta de los datos personales.

Encuesta de los datos personales

* Indica que la pregunta es obligatoria

1. Código del participante *

2. Fecha

   Ejemplo: 7 de enero del 2019

3. Edad *

4. Altura *

5. Género *

   Marca solo un óvalo.

   - Hombre
   - Mujer
   - Otro: _____

6. Experiencia previa con ordenadores *

   Marca solo un óvalo.

	1	2	3	4	5	6	7	
Poc	◯	◯	◯	◯	◯	◯	◯	Mucha

7. Experiencia previa con VR *

   Marca solo un óvalo.

	1	2	3	4	5	6	7	
Poc	◯	◯	◯	◯	◯	◯	◯	Mucha

8. Experiencia previa con juegos *

   Marca solo un óvalo.

	1	2	3	4	5	6	7	
Poc	◯	◯	◯	◯	◯	◯	◯	Mucha

2. Encuesta de la presencia y cybersickness

Cybersickness

* Indica que la pregunta es obligatoria

1. Código del participante *

2. Altura adicional *

Marca solo un óvalo.

1	2	3	4	5
◯	◯	◯	◯	◯

3. Con Cuerpo RV *

Marca solo un óvalo.

- Sí
- No

4. Malestar general *

Marca solo un óvalo.

	1	2	3	4	5	6	7	
Ninç	◯	◯	◯	◯	◯	◯	◯	Grave

5. Fatiga *

Marca solo un óvalo.

	1	2	3	4	5	6	7	
Ninç	◯	◯	◯	◯	◯	◯	◯	Grave

6. Dolor de cabeza *

Marca solo un óvalo.

	1	2	3	4	5	6	7	
Ninç	◯	◯	◯	◯	◯	◯	◯	Grave

7. Tensión ocular *

Marca solo un óvalo.

	1	2	3	4	5	6	7	
Ninç	◯	◯	◯	◯	◯	◯	◯	Grave

8. Aumento de la salivación *

Marca solo un óvalo.

	1	2	3	4	5	6	7	
Ninç	◯	◯	◯	◯	◯	◯	◯	Grave

9. Sudoración *

Marca solo un óvalo.

	1	2	3	4	5	6	7	
Ninç	◯	◯	◯	◯	◯	◯	◯	Grave

10. Náuseas *

Marca solo un óvalo.

	1	2	3	4	5	6	7	
Ninç	◯	◯	◯	◯	◯	◯	◯	Grave

11. Dificultad de concentración *

Marca solo un óvalo.

	1	2	3	4	5	6	7	
Ninç	◯	◯	◯	◯	◯	◯	◯	Grave

12. Plenitud de la cabeza *

Marca solo un óvalo.

	1	2	3	4	5	6	7	
Ninç	◯	◯	◯	◯	◯	◯	◯	Grave

13. Blurred vision *

Marca solo un óvalo.

	1	2	3	4	5	6	7	
Ninç	◯	◯	◯	◯	◯	◯	◯	Grave

14. Mareo con los ojos abiertos *

Marca solo un óvalo.

	1	2	3	4	5	6	7	
Ninç	◯	◯	◯	◯	◯	◯	◯	Grave

15. Mareo con los ojos cerrados *

Marca solo un óvalo.

	1	2	3	4	5	6	7	
Ninç	◯	◯	◯	◯	◯	◯	◯	Grave

16. Vértigo (pérdida de orientación con respecto a la vertical) *

Marca solo un óvalo.

	1	2	3	4	5	6	7	
Ninç	◯	◯	◯	◯	◯	◯	◯	Grave

17. Sensibilización estomacal (sensación de malestar cercana a las náuseas) *

Marca solo un óvalo.

	1	2	3	4	5	6	7	
Ninç	◯	◯	◯	◯	◯	◯	◯	Grave

18. Eructos *

Marca solo un óvalo.

	1	2	3	4	5	6	7	
Ninç	◯	◯	◯	◯	◯	◯	◯	Grave

Presencia

19. Por lo general la calidad de la visualización me ha parecido buena

Marca solo un óvalo.

1	2	3	4	5	6	7
◯	◯	◯	◯	◯	◯	◯

20. El contenido del entorno virtual resulta intuitivo y facilita el cumplimiento de las tareas asignadas

Marca solo un óvalo.

1	2	3	4	5	6	7
◯	◯	◯	◯	◯	◯	◯

21. Considero que la navegación por el entorno virtual es intuitiva

Marca solo un óvalo.

1	2	3	4	5	6	7
◯	◯	◯	◯	◯	◯	◯

22. ¿En qué medida hubo momentos durante la experiencia en los que el entorno virtual era la realidad para ti?

Marca solo un óvalo.

1	2	3	4	5	6	7
◯	◯	◯	◯	◯	◯	◯

23. Cuando recuerda la experiencia, ¿piensa en el entorno virtual más como imágenes que ha visto o más como un lugar que ha visitado?

Marca solo un óvalo.

	1	2	3	4	5	6	7	
imag	◯	◯	◯	◯	◯	◯	◯	lugar

24. Durante la experiencia, ¿qué fue más fuerte en general, la sensación de estar en el entorno virtual o de estar en otro lugar?

Marca solo un óvalo.

	1	2	3	4	5	6	7	
ento	◯	◯	◯	◯	◯	◯	◯	otro lugar

25. Piensa en el recuerdo que tienes de haber estado en el entorno virtual. ¿En qué medida se parece, en términos de estructura del recuerdo, a la estructura del recuerdo de otros lugares en los que ha estado hoy? Por «estructura del recuerdo» se entienden aspectos como el grado en que tienes un recuerdo visual del entorno virtual, si ese recuerdo es en color, el grado en que el recuerdo parece vívido o realista, su tamaño, la ubicación en tu imaginación, el grado en que es panorámico en tu imaginación y otros elementos estructurales similares.

Marca solo un óvalo.

1	2	3	4	5	6	7
◯	◯	◯	◯	◯	◯	◯

26. Durante tu experiencia, ¿pensabas a menudo que estabas en el entorno virtual?

Marca solo un óvalo.

1	2	3	4	5	6	7
◯	◯	◯	◯	◯	◯	◯

27. Explica si el cuerpo virtual te ha ayudado a mejorar la experiencia (menos mareo, más seguridad, más velocidad de movimiento...)

28. Otros comentarios

29. Haremos más experimentos en el futuro, si quieres participar, déjanos tu correo electrónico

3. Respuestas de la encuesta de los datos personales

Fecha	Código del participante	Fecha	Edad	Altura	Género	Experiencia previa con ordenadores	Experiencia previa con VR	Experiencia previa con juegos
2024-6-6 15:06:04	01	2024-6-6	40	1.60m	Mujer	2	1	1
2024-6-6 15:06:51	02	2024-6-6	41	1.82m	Hombre	4	4	7
2024-6-7 12:53:42	03	2024-6-7	24	1.80m	Hombre	7	3	4
2024-6-7 01:17:26	04	2024-6-7	21	1.96m	Hombre	7	7	7

4. Respuestas de la encuesta de la presencia y cybersickness

Marca temporal	Código del participante	Altura adicional	Con Cuerpo RV	Malestar general	Fatiga	Dolor de cabeza	Tensión ocular	Aumento de la salivación	Sudoración	Náuseas
6/06/2024 15:40:10	01	1	No	1	1	1	1	1	1	1
6/06/2024 15:44:54	01	2	No	1	1	1	1	1	2	1
6/06/2024 15:50:33	01	3	No	1	2	1	2	1	2	1
6/06/2024 15:55:21	01	4	No	2	2	1	2	1	2	1
6/06/2024 15:59:24	01	5	No	3	3	1	2	1	3	1
6/06/2024 16:10:11	02	1	No	1	1	1	1	1	1	1
6/06/2024 16:13:12	02	2	No	1	1	1	1	1	1	1
6/06/2024 16:16:49	02	3	No	2	1	1	1	1	1	1
6/06/2024 16:20:33	02	4	No	2	1	1	1	1	1	1
6/06/2024 16:25:29	02	5	No	2	1	1	1	1	1	1
6/06/2024 16:33:51	01	1	Sí	1	1	1	1	1	1	1
6/06/2024 16:37:17	01	2	Sí	1	2	1	1	1	2	1
6/06/2024 16:41:46	01	3	Sí	1	1	1	2	1	2	1
6/06/2024 16:45:21	01	4	Sí	1	1	1	2	1	2	1

6/06/2024 16:50:42	01	5	Sí	2	2	1	2	1	2	1
6/06/2024 17:25:10	02	1	Sí	1	1	1	1	1	1	1
6/06/2024 17:27:55	02	2	Sí	1	1	1	1	1	1	1
6/06/2024 17:30:39	02	3	Sí	1	1	1	1	1	1	1
6/06/2024 17:34:14	02	4	Sí	2	1	1	1	1	1	1
6/06/2024 17:38:26	02	5	Sí	2	1	1	1	1	1	1
7/06/2024 13:03:58	03	5	Sí	1	1	1	1	1	1	1
7/06/2024 13:07:36	03	4	Sí	1	1	1	1	1	1	1
7/06/2024 13:10:34	03	3	Sí	1	1	1	1	1	1	1
7/06/2024 13:13:04	03	2	Sí	1	1	1	1	1	1	1
7/06/2024 13:15:34	03	1	Sí	1	1	1	1	1	1	1
7/06/2024 13:22:50	04	5	Sí	1	1	1	1	2	2	1
7/06/2024 13:25:43	04	4	Sí	1	1	1	1	2	2	1
7/06/2024 13:28:01	04	3	Sí	1	1	1	1	2	2	1
7/06/2024 13:30:37	04	2	Sí	2	1	1	2	2	2	1
7/06/2024 13:35:18	04	1	Sí	2	1	1	2	2	2	1

7/06/2024 13:39:34	03	5	No	2	1	1	1	1	1	1
7/06/2024 13:41:31	03	4	No	2	1	1	1	1	1	1
7/06/2024 13:43:40	03	3	No	1	1	1	1	1	1	1
7/06/2024 13:45:29	03	2	No	1	1	1	1	1	1	1
7/06/2024 13:49:11	03	1	No	1	1	1	1	1	1	1
7/06/2024 13:53:47	04	5	No	4	1	1	2	2	2	1
7/06/2024 13:55:44	04	4	No	3	1	2	2	2	2	1
7/06/2024 13:57:29	04	3	No	3	2	2	2	2	2	1
7/06/2024 13:58:38	04	2	No	2	2	1	1	2	2	1
7/06/2024 14:02:47	04	1	No	2	1	1	1	2	2	1

Marca temporal	Código del participante	Altura adicional	Con Cuerpo RV	Plenitud de la cabeza	Blurred vision	Mareo con los ojos abiertos	Mareo con los ojos cerrados	Vértigo (pérdida de orientación con respecto a la vertical)	Sensibilización estomacal (sensación de malestar cercana a las	Eructos	Por lo general la calidad de la visualización me ha parecido

									náuseas)		buena
6/06/2024 15:40:10	01	1	No	1	1	1	1	1	1	1	6
6/06/2024 15:44:54	01	2	No	1	1	1	2	1	1	1	
6/06/2024 15:50:33	01	3	No	2	1	1	1	1	1	1	
6/06/2024 15:55:21	01	4	No	1	1	1	1	2	2	1	
6/06/2024 15:59:24	01	5	No	1	2	2	1	2	1	1	
6/06/2024 16:10:11	02	1	No	1	1	1	1	1	1	1	6
6/06/2024 16:13:12	02	2	No	1	1	1	1	1	1	1	
6/06/2024 16:16:49	02	3	No	1	1	2	2	1	1	1	
6/06/2024 16:20:33	02	4	No	1	1	2	2	1	1	1	
6/06/2024 16:25:29	02	5	No	1	1	3	2	1	1	1	
6/06/2024 16:33:51	01	1	Sí	1	1	1	1	1	1	1	
6/06/2024 16:37:17	01	2	Sí	1	1	1	1	1	1	1	
6/06/2024 16:41:46	01	3	Sí	1	1	1	1	1	1	1	
6/06/2024 16:45:21	01	4	Sí	2	1	2	1	1	1	1	

6/06/2024 16:50:42	01	5	Sí	1	2	2	2	1	1	1	
6/06/2024 17:25:10	02	1	Sí	1	1	1	1	1	1	1	
6/06/2024 17:27:55	02	2	Sí	1	1	1	1	1	1	1	
6/06/2024 17:30:39	02	3	Sí	1	1	1	1	1	1	1	
6/06/2024 17:34:14	02	4	Sí	1	1	2	1	1	1	1	
6/06/2024 17:38:26	02	5	Sí	1	1	2	2	1	1	1	
7/06/2024 13:03:58	03	5	Sí	3	1	1	1	3	1	1	7
7/06/2024 13:07:36	03	4	Sí	2	1	1	1	2	1	1	
7/06/2024 13:10:34	03	3	Sí	2	1	1	1	1	1	1	
7/06/2024 13:13:04	03	2	Sí	1	1	1	1	1	1	1	
7/06/2024 13:15:34	03	1	Sí	2	1	1	1	2	1	1	
7/06/2024 13:22:50	04	5	Sí	1	3	1	1	3	1	1	
7/06/2024 13:25:43	04	4	Sí	1	1	1	1	1	1	1	
7/06/2024 13:28:01	04	3	Sí	1	1	1	1	1	1	1	
7/06/2024 13:30:37	04	2	Sí	2	3	1	1	1	1	1	
7/06/2024 13:35:18	04	1	Sí	2	2	1	1	1	2	1	6

7/06/2024 13:39:34	03	5	No	2	1	1	1	3	1	1	
7/06/2024 13:41:31	03	4	No	2	1	1	1	3	1	1	
7/06/2024 13:43:40	03	3	No	1	1	1	1	2	1	1	
7/06/2024 13:45:29	03	2	No	1	1	1	1	1	1	1	
7/06/2024 13:49:11	03	1	No	1	1	1	1	1	1	1	
7/06/2024 13:53:47	04	5	No	2	2	1	1	5	2	1	
7/06/2024 13:55:44	04	4	No	3	2	1	1	3	2	1	
7/06/2024 13:57:29	04	3	No	2	2	1	1	3	2	1	
7/06/2024 13:58:38	04	2	No	2	1	1	1	2	2	1	
7/06/2024 14:02:47	04	1	No	1	1	1	1	2	1	1	

Marca temporal	Código del participante	Altura adicional	Con Cuerpo RV	El contenido del entorno virtual resulta intuitivo y facilita el cumplimiento de las tareas asignadas	Considero que la navegación por el entorno virtual es intuitiva	¿En qué medida hubo momentos durante la experiencia en los que el entorno virtual era la realidad para ti?	Cuando recuerda la experiencia, ¿piensa en el entorno virtual más como imágenes que ha visto o más como un lugar que ha visitado?	Durante la experiencia, ¿qué fue más fuerte en general, la sensación de estar en el entorno virtual o de estar en otro lugar?	Piensa en el recuerdo que tienes de haber estado en el entorno virtual. ¿En qué medida se parece, en términos de estructura del recuerdo, a la estructura del recuerdo de otros lugares en los que ha estado hoy? Por «estructura del recuerdo» se entienden aspectos como el grado en que tienes un recuerdo visual del entorno virtual, si ese recuerdo es en color, el grado en que el recuerdo parece vívido o realista, su tamaño, la ubicación en tu imaginación, el grado en que es panorámico en tu imaginación y otros elementos estructurales similares.	Durante tu experiencia, ¿pensabas a menudo que estabas en el entorno virtual?
6/06/2024 15:40:10	01	1	No	7	6	6	5	6	4	5
6/06/2024 15:44:54	01	2	No							
6/06/2024 15:50:33	01	3	No							
6/06/2024 15:55:21	01	4	No							
6/06/2024 15:59:24	01	5	No							

6/06/2024 16:10:11	02	1	No	6	7	6	5	5	5	5
6/06/2024 16:13:12	02	2	No							
6/06/2024 16:16:49	02	3	No							
6/06/2024 16:20:33	02	4	No							
6/06/2024 16:25:29	02	5	No							
6/06/2024 16:33:51	01	1	Sí							
6/06/2024 16:37:17	01	2	Sí							
6/06/2024 16:41:46	01	3	Sí							
6/06/2024 16:45:21	01	4	Sí							
6/06/2024 16:50:42	01	5	Sí							
6/06/2024 17:25:10	02	1	Sí							
6/06/2024 17:27:55	02	2	Sí							
6/06/2024 17:30:39	02	3	Sí							
6/06/2024 17:34:14	02	4	Sí							
6/06/2024 17:38:26	02	5	Sí							
7/06/2024 13:03:58	03	5	Sí	6	7	5	2	3	6	5

7/06/2024 13:07:36	03	4	Sí							
7/06/2024 13:10:34	03	3	Sí							
7/06/2024 13:13:04	03	2	Sí							
7/06/2024 13:15:34	03	1	Sí							
7/06/2024 13:22:50	04	5	Sí							
7/06/2024 13:25:43	04	4	Sí							
7/06/2024 13:28:01	04	3	Sí							
7/06/2024 13:30:37	04	2	Sí							
7/06/2024 13:35:18	04	1	Sí	6	7	5	7	2	3	7
7/06/2024 13:39:34	03	5	No							
7/06/2024 13:41:31	03	4	No							
7/06/2024 13:43:40	03	3	No							
7/06/2024 13:45:29	03	2	No							
7/06/2024 13:49:11	03	1	No							
7/06/2024 13:53:47	04	5	No							
7/06/2024 13:55:44	04	4	No							

7/06/2024 13:57:29	04	3	No							
7/06/2024 13:58:38	04	2	No							
7/06/2024 14:02:47	04	1	No							