

UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA
DEPARTAMENTO DE INFORMÁTICA
SANTIAGO - CHILE



“MEJORA DE EXPERIENCIA DE USUARIOS EN
APLICACIÓN DE REALIDAD VIRTUAL
LIFESWAPP”

TOMÁS IGNACIO ALLENDES VÁSQUEZ

MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE
INGENIERO CIVIL EN INFORMÁTICA

Profesor Guía: LIOUBOV DOMBROVSKAIA
Profesor Correferente: MARCELLO VISCONTI

Septiembre - 2024

AGRADECIMIENTOS

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento a todas las personas que me han acompañado y apoyado a lo largo de este proyecto de título.

A mi familia y a mi pareja, por su amor incondicional y constante apoyo. Gracias por creer en mí, por sus palabras de aliento en los momentos difíciles y por ser mi fuente de motivación y fortaleza. Su paciencia y comprensión han sido fundamentales para que pudiera llegar hasta aquí.

A mis amigos, por su compañerismo y por estar siempre dispuestos a ofrecer una mano amiga. Gracias por las conversaciones que me ayudaron a despejar la mente, las risas que aligeraron la carga y por ser mi red de apoyo inquebrantable.

A mis profesores, por su invaluable guía y conocimiento. Gracias por su dedicación y compromiso con mi formación, por sus consejos sabios y por inspirarme a alcanzar nuevas metas. Sus enseñanzas han sido un pilar fundamental en mi desarrollo académico y profesional.

Y por último, a mis 3 mascotas, las cuales me acompañaron durante las incontables noches de desvelo.

A todos ustedes, gracias por ser parte de este viaje. Este logro no habría sido posible sin su apoyo y confianza.

RESUMEN

La Realidad Virtual (VR) es una tecnología relativamente nueva para los usuarios comunes, en la última década se han logrado avances significativos de esta en diversas áreas. Debido a su reciente expansión no existe una base sólida sobre el desarrollo de aplicaciones de VR que garantice entregar una experiencia inmersiva y usable.

A través de una metodología de desarrollo iterativa basada en prototipos, se realiza un seguimiento a la experiencia que entrega la aplicación LifeSwapp mediante pruebas de usabilidad. Adicionalmente se estudia de manera más enfocada la sensación de presencia que entrega la aplicación, para esto se utilizan un cuestionario de presencia elaborado por Witmer y Singer.

Como resultado, en el prototipo final se obtiene un nivel de inmersión del 80.5 %, concluyendo que el trabajo en conjunto de la medición de la sensación de presencia mediante cuestionarios y la metodología de desarrollo iterativa basada en prototipos permitió mejorar de manera sustancial los niveles de inmersión y el desempeño de los usuarios a lo largo del proyecto.

Palabras Clave— Realidad Virtual, Inmersión, Usabilidad, Medición, LifeSwapp.

ABSTRACT

Virtual Reality (VR) is a relatively new technology for common users, and significant advancements have been made in various areas over the last decade. Due to its recent expansion, there is no solid foundation for the development of VR applications that guarantees an immersive and usable experience.

Through an iterative, prototype-based development methodology, the user experience delivered by the LifeSwapp application is monitored through usability testing. Additionally, the sense of presence provided by the application is studied more closely using a presence questionnaire developed by Witmer and Singer.

As a result, the final prototype achieved an immersion level of 80.5 %, concluding that the combined approach of measuring the sense of presence through questionnaires and the iterative, prototype-based development methodology significantly improved immersion levels and user performance throughout the project.

Keywords— Virtual Reality, Immersion, Usability, Measurement, LifeSwapp.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

RESUMEN	II
ABSTRACT	III
ÍNDICE DE FIGURAS	VI
ÍNDICE DE TABLAS	VI
CAPÍTULO 1: Introducción	1
CAPÍTULO 2: Estado del Arte	3
2.1 ¿Qué es la Realidad Virtual?	3
2.2 Historial de la Realidad Virtual	3
2.3 Experiencia de Usuario en la Realidad Virtual	4
2.4 ¿Qué es la Usabilidad?	4
2.5 ¿Qué es la Sensación de Presencia y la Inmersión?	5
2.6 ¿Qué es LifeSwapp?	5
CAPÍTULO 3: Metodología para la Medición y Mejora de la Experiencia de Usuario	7
3.1 Métodos para Evaluar la Experiencia de Usuario y la Sensación de Presencia	7
3.1.1 Métricas de Evaluación	9
CAPÍTULO 4: Mejoras Iterativas	10
4.1 Primera Iteración	10
4.1.1 Participantes y Tareas	10
4.1.2 Desempeño	11
4.1.3 Inmersión	13
4.1.4 Discusión	13
4.2 Segunda Iteración	14
4.2.1 Mejoras al prototipo	14
4.2.2 Participantes y Tareas	14
4.2.3 Desempeño	15
4.2.4 Inmersión	16
4.2.5 Discusión	17
4.3 Tercera Iteración	17
4.3.1 Mejoras al prototipo	17
4.3.2 Participantes y Tareas	18
4.3.3 Desempeño	20
4.3.4 Inmersión	22
4.3.5 Discusión	22
4.4 Cuarta Iteración	23
4.4.1 Mejoras al prototipo	23
4.4.2 Participantes y Tareas	25

4.4.3	Desempeño	26
4.4.4	Inmersión	27
4.4.5	Discusión	28
CAPÍTULO 5: Evaluación Final de Inmersión		29
5.1	Mejoras al prototipo	29
5.2	Participantes y Tareas	30
5.3	Desempeño	31
5.4	Inmersión	32
5.5	Discusión	32
CAPÍTULO 6: Conclusiones		34
6.1	Resultados Finales	34
6.2	Validación de Metodología de Desarrollo basada en Prototipos	34
6.3	Medición y Mejora de la Sensación de Presencia	34
6.4	Medición y Mejora de la Experiencia de Usuario	35
6.5	Trabajo a Futuro	36
ANEXOS		37
6.1	Resultados iteración 1	38
6.2	Resultados iteración 2	39
6.3	Resultados iteración 3	40
6.4	Resultados iteración 4	41
7	Resultados fase de testeo	41
7.1	Lineamientos de la fase de testeo	41
7.2	Resultados iteración 1	42
7.3	Resultados iteración 2	45
7.4	Resultados iteración 3	47
7.5	Resultados iteración 4	51
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS		53

ÍNDICE DE FIGURAS

1	Escenarios que posee LifeSwapp	6
2	Mundo virtual de LifeSwapp	6
3	Correlación entre los factores del PQ	8
4	Desempeño de los usuarios en Iteración 1	12
5	Objeto implementado para guiar al usuario	14
6	Desempeño de los usuarios en la Iteración 2	16
7	Tutorial visual para escenario de silla de ruedas	18
8	Desempeño de los usuarios en la Iteración 3	21
9	Usuario interactuando con el sistema de tránsito	23
10	Usuario observando NPC moviéndose por el entorno	24
11	Tutorial para subir el autobús	24
12	Desempeño de los usuarios en la Iteración 4	27
13	Escenario tutorial para silla de ruedas	30
14	Gráfico de puntuación en el cuestionario de presencia en la iteración 1.	38
15	Gráfico de puntuación en el cuestionario de presencia en la iteración 2.	39
16	Gráfico de puntuación en el cuestionario de presencia en la iteración 3.	40
17	Gráfico de puntuación en el cuestionario de presencia en la iteración 4.	41

ÍNDICE DE TABLAS

1	Usuarios en la Iteración 1	10
2	Tiempo y éxito por tarea en la iteración 1.	12
3	Resultado del Cuestionario de Presencia en la Iteración 1	13
4	Usuarios en la Iteración 2	15
5	Tiempo y éxito por tarea en la iteración 2.	16
6	Resultado del Cuestionario de Presencia en la Iteración 2	17
7	Usuarios en la Iteración 3	18
8	Tiempo y éxito por tarea en la iteración 3.	21
9	Resultado del Cuestionario de Presencia en la Iteración 3	22
10	Usuarios en la Iteración 4	25
11	Tiempo y éxito por tarea en la iteración 4.	27
12	Resultado del Cuestionario de Presencia en la Iteración 4	28
13	Participantes	30
14	Tiempo y éxito por tarea en la iteración final.	32
15	Presencia en la iteración Final	32
16	Resultados del Usuario 1.1: M.	42
17	Resultados del Usuario 1.2: C.	43
18	Resultados del Usuario 1.3: W.	44
19	Resultados del Usuario 1.4: N.	44
20	Resultados del Usuario 2.1: C.	45
21	Resultados del Usuario 2.2: M.	45

22	Resultados del Usuario 2.3: S.	46
23	Resultados del Usuario 2.4: R.	46
24	Resultados del Usuario 3.1: M.	47
25	Resultados del Usuario 3.2: K.	48
26	Resultados del Usuario 3.3: C.	49
27	Resultados del Usuario 3.4: E.	50
28	Resultados del Usuario 4.1: W.	51
29	Resultados del Usuario 4.2: A.	52
30	Resultados del Usuario 4.3: J.	52
31	Resultados del Usuario 4.4: M.	52

CAPÍTULO 1

Introducción

Las respuestas a cómo utilizar un producto las debe dar su diseño [Norman y A., 2002], Norman critica la baja capacidad que tiene una puerta para explicarse a sí misma, la cual a simple vista parece tener pocas opciones de cómo utilizarse, sin embargo, aun así, se requiere de una etiqueta que indique cuándo estas se deben tirar o empujar. Por lo que, si una simple puerta con dos metros cuadrados de diseño no puede explicarse a sí misma, ¿Cómo se espera que un software de computador con diez veces menos espacio visual explique un centenar de funcionalidades? Aquí nace la necesidad de utilizar metodologías de diseño efectivas que se centren en elaborar un software de fácil entendimiento para los usuarios finales.

Por otro lado, la realidad virtual ha llegado para quedarse, en la última década se volvió una alternativa bastante atractiva para los desarrolladores de videojuegos debido a la experiencia envolvente que entrega, pero su alcance no se limita solo al entretenimiento, también promete ser útil en diversas áreas como la arquitectura, la medicina y más.

Ofrecer una buena experiencia a un usuario de una aplicación de VR parece ser aún más importante, en este ambiente la visualización de la información que se le está presentando al usuario ya no se encierra en un monitor de unas cuantas pulgadas, sino que pasa a abarcar todo el campo visual de este mismo, los sentidos del usuario se agudizan mientras use el software, por lo que un pequeño error podría ser fatal para su experiencia.

En una entrevista con Games Industry, Nick Witsel diseñador de Vertigo Games [Dealessandri, 2020] mencionó que “Es difícil determinar qué es lo que se debe y lo que no se debe hacer en la realidad virtual. La única regla es que todavía no hay ninguna”, esto lleva a entender que cuando aparece una nueva tecnología, es importante entender cuál es su fuerte. Aplicar metodologías de diseño, patrones y enfoques provenientes de otras tecnologías es un error. De ahí que se enfatiza la importancia de buscar nuevas opciones y estrategias que se adapten a las cualidades de VR.

El uso prolongado de dispositivos de realidad virtual (VR) puede provocar efectos secundarios indeseables, conocidos como “cinetosis” de realidad virtual [Cuevas y Aguayo, 2013]. Este fenómeno se manifiesta a través de síntomas como náuseas, desorientación, dolor de cabeza y fatiga visual. Dado que estos síntomas pueden afectar negativamente la experiencia del usuario, es fundamental investigar y abordar este problema para mejorar la comodidad y la inmersión en las aplicaciones de VR.

Por último, es fundamental destacar que una experiencia de usuario satisfactoria no solo depende de las emociones generadas por el software en el usuario. Para la mayoría de los usuarios, la realidad virtual sigue siendo novedosa, por lo que es probable que impresione a aquellos usuarios que no la hayan experimentado previamente, incluso si el usuario no tiene conocimientos sobre cómo utilizar la mayoría de las funciones del software, la innovación

de la tecnología puede opacar la mala experiencia. Sin embargo, este fenómeno cambiará a medida que la realidad virtual se vuelva más común entre los usuarios. Llegará un punto en el que su atractivo inherente no será suficiente, y será necesario garantizar una inmersión de calidad y una experiencia fluida para mantener la satisfacción del usuario.

CAPÍTULO 2

Estado del Arte

2.1. ¿Qué es la Realidad Virtual?

La Realidad Virtual (VR) es una tecnología que permite sumergir al usuario en un mundo simulado [Escartín, 2000]. Principalmente se usa un lente de VR cuyo objetivo es mostrar de forma inmersiva y envolvente el entorno en que está sumergido el usuario, además de controladores manuales que interactúan con este mundo de distintas maneras. Durante los últimos años se han integrado nuevas tecnologías que prometen brindar una experiencia más real e interactiva al usuario, algunas de ellas son trajes hápticos, interfaces cerebro computador y más.

2.2. Historial de la Realidad Virtual

La Realidad Virtual fue impulsada por diversos pioneros y avances tecnológicos a lo largo de los años. Uno de los hitos más importantes en el desarrollo de la Realidad Virtual fue el “Sensorama” desarrollado por Morton Heilig en 1962, que sentó las bases para la creación de entornos inmersivos. Además, Iván Sutherland jugó un papel crucial al inventar el término “El Display Máximo” en 1965 y al desarrollar el primer casco de visualización (HMD) con gráficos por computador en 1968. La NASA también contribuyó significativamente al diseñar el primer sistema de Realidad Virtual en la década de 1970 [Carbajal *et al.*, 2006].

A pesar de que sus orígenes se remontan a décadas atrás, no fue sino hasta los últimos años que la realidad virtual finalmente logró trascender las barreras tecnológicas y económicas para alcanzar al usuario común [Innguma, 2024].

Durante gran parte de su historia, esta tecnología inmersiva permaneció relegada a ámbitos específicos como la investigación académica, la industria militar y algunos sectores corporativos, lejos del alcance del consumidor promedio. Sin embargo, la convergencia de avances clave, como el aumento en el poder de procesamiento, el desarrollo de dispositivos de seguimiento de movimiento asequibles y la mejora significativa de la portabilidad de los lentes de VR, sentaron las bases para que la realidad virtual se convirtiera en una experiencia accesible y asequible para el público en general [Evergine, 2023].

La integración de la realidad virtual en la gamificación ha revolucionado la forma en que se diseñan y se experimentan las actividades de aprendizaje [Moreno-López *et al.*, 2023]. Esta poderosa combinación aprovecha la inmersión total que ofrece la VR para elevar los elementos de juego a un nuevo nivel, creando experiencias más envolventes y memorables. La VR permite a los usuarios interactuar con entornos tridimensionales y objetos virtuales de manera

intuitiva, lo que amplifica el impacto de las mecánicas de juego tradicionales. Al incorporar desafíos, recompensas y narrativas dentro de estos espacios virtuales, la gamificación en VR no solo aumenta la motivación y el compromiso de los participantes, sino que también facilita la retención de información y el desarrollo de habilidades de una manera más efectiva y natural [Hurtado Torres, 2022]. Esta sinergia entre VR y gamificación está transformando diversos campos, desde la educación y el entrenamiento corporativo hasta el marketing y la salud, ofreciendo soluciones innovadoras para el aprendizaje experiencial y la resolución de problemas.

2.3. Experiencia de Usuario en la Realidad Virtual

La Experiencia de Usuario (UX) se refiere a cómo una persona percibe un determinado producto, esta percepción se genera cuando se interactúa con un producto a través de su interfaz. Las experiencias de usuario si bien se relaciona directamente con la interfaz de usuario, no son lo mismo, los humanos utilizan las interfaces y sienten experiencias [Norman y A., 2002], es la interacción con las interfaces la que determinan la experiencia, siendo esta última la más importante, y es que una buena interfaz no tiene sentido, si no genera una buena experiencia.

La UX en aplicaciones de VR está determinada principalmente por la calidad de la inmersión y la interacción que vive el usuario [Kaplan-Rakowski y Gruber, 2024], si estos aspectos se entregan debidamente al usuario, aumenta la probabilidad de que la experiencia de este sea positiva. Adicionalmente, existen aspectos que si bien no cumplen un rol trascendental, potencian la mejora de la experiencia, estos son la estimulación multisensorial, la cual hace referencia a generar estímulos en más de un sentido simultáneamente para así generar una experiencia más completa y atractiva, la suspensión de incredulidad por su parte, se refiere a la voluntad que tiene en usuario para aceptar por un momento como real el mundo que como él sabe, es ficticio.

2.4. ¿Qué es la Usabilidad?

En el contexto de experiencia de usuario, se define usabilidad como la facilidad de uso y la utilidad con la que un sistema, producto o servicio puede ser utilizado por usuarios específicos para lograr objetivos definidos en un contexto particular [Mena *et al.*, 2022]. Es un concepto clave en el diseño centrado en el usuario y la experiencia de usuario, ya que determina en gran medida la satisfacción y la efectividad de la interacción humano-computadora.

Una alta usabilidad implica que el sistema es intuitivo, fácil de aprender y recordar, eficiente en su uso, minimiza los errores y proporciona una experiencia agradable al usuario. Evaluar y mejorar la usabilidad implica analizar aspectos como la comprensibilidad de la interfaz, la consistencia en el diseño, la flexibilidad y capacidad de personalización, la protección contra errores y la estética visual.

Al optimizar la usabilidad, se busca reducir la carga cognitiva del usuario, aumentar la productividad y garantizar que el sistema se adapte a las necesidades, habilidades y limitaciones humanas, en lugar de forzar al usuario a adaptarse a un diseño deficiente.

2.5. ¿Qué es la Sensación de Presencia y la Inmersión?

La Sensación de Presencia (SP) se refiere a un estado de conciencia, una sensación psicológica de estar realmente presente en un entorno virtual generado por computadora a pesar de estar físicamente situado en un lugar diferente [Slater y Wilbur, 1997]. Esta depende de variables como el realismo de los estímulos sensoriales presentados, la coherencia y consistencia del entorno virtual, el nivel de inmersión e interacción permitidos, así como factores individuales del usuario. Una alta presencia contribuye a que la experiencia virtual sea más cautivadora, convincente y memorable para el usuario.

La definición de Inmersión es tema de debate en la comunidad científica, algunos investigadores como Mel Slater describen la inmersión como una descripción objetiva de la tecnología de entornos virtuales, por otra parte, Witmer y Singer lo describen como una respuesta subjetiva de la persona centrándose en una percepción individual [Jennett *et al.*, 2008]. En esta memoria se utilizará la definición de Slater ya que permite diferenciarla de manera más clara con la sensación de presencia, de esta forma las personas experimentan un grado de sensación de presencia y los entornos virtuales pueden ser o no inmersivos.

2.6. ¿Qué es LifeSwapp?

LifeSwapp es una aplicación de VR que busca concientizar sobre las distintas etapas que viven un grupo de personas con una determinada condición, entre ellas se contempla vejez, movilidad reducida y situación de embarazo (Figura 1).

En el primer escenario, el usuario experimenta como es el ser una persona de la tercera edad, llevando una vida de cuidados y precauciones enfrentando situaciones como visibilidad borrosa, principio de parkinson, movilidad reducida y mas. En el segundo escenario se simula ser una persona en situación de discapacidad dependiente de una silla de ruedas, en este escenario se experimenta la dificultad de utilizar una silla en las tareas diarias como prepararse un café, cepillarse los dientes y hacer uso de espacios preferenciales. Por ultimo, en el tercer escenario se simula ser una mujer embarazada, aquí el usuario experimenta dificultades físicas como fatiga acumulada y realiza visitas al médico.

El objetivo de LifeSwapp es dar a conocer las distintas dificultades que se les presentan en el día a día, fomentando la empatía y el bien común. LifeSwapp es un proyecto que fue desarrollado por AndesCorp en el cual el memorista tuvo el papel de desarrollador UI/UX.



Figura 1: Escenarios que posee LifeSwapp



Figura 2: Mundo virtual de LifeSwapp

CAPÍTULO 3

Metodología para la Medición y Mejora de la Experiencia de Usuario

Se implementará una metodología de desarrollo iterativa basada en ciclos [García, 2015], donde cada ciclo consta de tres fases fundamentales: Diseño y Creación de Prototipos, Testeo de los Prototipos Y Discusión.

En la fase de diseño y creación de prototipos, se conceptualizan y desarrollan versiones preliminares de la aplicación, incorporando las mejoras y soluciones propuestas en el ciclo anterior.

En la fase de Testeo de los Prototipos se realizarán sesiones de evaluación con un grupo de usuarios seleccionados, esta se profundizará más adelante. Durante estas sesiones, se aplicarán técnicas como la observación directa, la recopilación de comentarios y retroalimentaciones. Además, se tomarán datos cuantitativos, como el tiempo de ejecución de las tareas realizadas por los usuarios y la realización de un cuestionario de presencia. Estos datos empíricos serán fundamentales para comprender a profundidad la experiencia del usuario, identificar áreas problemáticas y oportunidades de mejora.

Finalmente, en la fase de Discusión se examinarán minuciosamente los datos recopilados durante las pruebas con usuarios. Se realizarán revisiones a los datos cuantitativos y cualitativos, analizando métricas clave como la efectividad en la realización de tareas, la satisfacción del usuario y la variación en la sensación de presencia. Estos datos permitirán extraer conclusiones valiosas y tomar decisiones fundamentadas para el siguiente ciclo de desarrollo.

Esta metodología iterativa y centrada en el usuario garantizará un enfoque ágil y adaptativo, donde las retroalimentaciones y observaciones de los usuarios serán la piedra angular para impulsar la mejora continua de la experiencia. Cada ciclo se nutrirá de los aprendizajes del anterior, priorizando el aumento de la sensación de presencia y la mejora de experiencia de usuario.

3.1. Métodos para Evaluar la Experiencia de Usuario y la Sensación de Presencia

Para llevar a cabo un seguimiento exhaustivo de la calidad de la experiencia de usuario durante la fase de pruebas, se implementarán dos métodos complementarios.

En primer lugar, se medirá la experiencia de usuario mediante pruebas de usabilidad, se le solicitará al usuario que realice una serie de tareas guiadas por un narrador. Durante este proceso, se aplicará la técnica “Pensamiento Verbalizado”, que consiste en que el usuario

verbalice sus pensamientos, impresiones y dificultades a medida que interactúa con la aplicación [Ordóñez-Gutiérrez, 2023]. Esta técnica permitirá obtener una perspectiva profunda y detallada sobre los desafíos y obstáculos que enfrenta el usuario, así como comprender mejor su proceso de pensamiento y toma de decisiones.

Por otra parte, se evaluará la sensación de presencia, un factor crucial que merece un análisis independiente debido a su relevancia en la experiencia general del usuario. Para medir este factor, se le pedirá al usuario que complete un cuestionario de presencia compuesto por 29 preguntas [Witmer *et al.*, 2005], en su versión adaptada a este proyecto, a cada pregunta se le debe asignar una puntuación entre 1 y 7. Este instrumento permite estudiar la sensación de presencia enfocando cuatro categorías, Adaptación/Inmersión, Involucramiento, Fidelidad Sensorial y Calidad de la Interfaz, cada pregunta del cuestionario esta enfocada a una categoría en particular, la puntuación obtenida en cada categoría se ajustará proporcionalmente según la cantidad de preguntas que correspondan a dicha categoría. En la Figura 3 se muestra el grado de correlación que tienen estas categorías, durante la fase de retroalimentación de cada iteración se utilizarán estas correlaciones para tomar decisiones respecto a cómo mejorar la sensación de presencia.

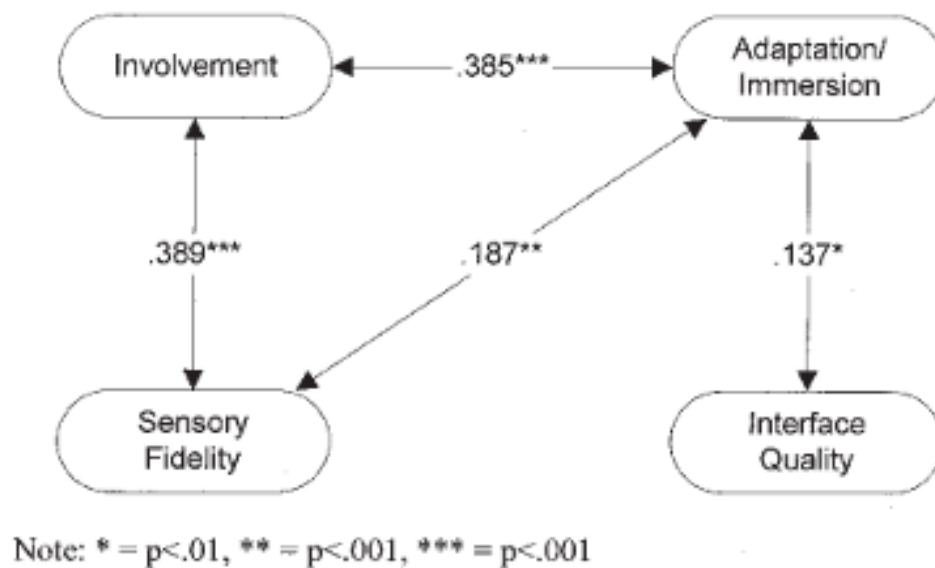


Figura 3: Correlación entre los factores del PQ
[Witmer *et al.*, 2005]

La combinación de estos dos métodos, la observación guiada por tareas con el enfoque “Pensamiento Verbalizado” y el cuestionario de presencia, permitirá analizar de manera integral la calidad de la experiencia de usuario y la sensación de presencia entregada. Los resultados obtenidos a través de estos enfoques complementarios proporcionarán información sólida y detallada, respaldada por datos empíricos, lo que facilitará la identificación de áreas de mejora y el ajuste de los elementos clave para optimizar la experiencia general del usuario.

Además, esta estrategia dual permitirá capturar tanto las perspectivas subjetivas y cualitativas del usuario, a través de sus verbalizaciones y comentarios, como las mediciones cuantitativas de la sensación de presencia, lo que enriquecerá el análisis y brindará una visión más completa.

3.1.1. Métricas de Evaluación

Las métricas que se utilizarán para medir la experiencia de usuario son *Tiempo de éxito*, *Porcentaje de éxito* e *Índice de Eficiencia*. El tiempo de éxito se define como el tiempo que los usuarios tardan en completar una tarea específica, proporcionando un indicador claro de la usabilidad y la eficiencia de la interfaz. Por otro lado, el porcentaje de éxito mide la efectividad con la que una tarea fue realizada, basándose en criterios de aceptación establecidos previamente, dependiendo de la cantidad de criterios realizados correctamente, se le asigna un porcentaje de éxito a cada tarea. Por último, el *Índice de Eficiencia (IE)*, indicará que tanto más se están demorando los usuarios respecto a un tiempo referencial en una tarea en particular. Para obtener el tiempo referencial de cada tarea se realizó un testeó previo a 3 participantes con un nivel avanzado en realidad virtual.

La fórmula para calcular el *Índice de Eficiencia (IE)* es:

$$IE = \frac{\bar{T}}{T_{\text{estimado}}}$$

donde:

- $\bar{T}$ es el promedio de tiempo que los usuarios demoraron en realizar la tarea.
- T_{estimado} es el tiempo referencial que tiene asignada la tarea.

El objetivo de este factor es brindar un punto de comparación entre los resultados obtenidos en las iteraciones, no se espera que los usuarios cumplan con los tiempos referenciales.

CAPÍTULO 4

Mejoras Iterativas

4.1. Primera Iteración

4.1.1. Participantes y Tareas

Para el prototipo 1 se testeará el escenario de vejez, la experiencia comienza dentro de una habitación, luego el usuario deberá realizar tareas dentro de la casa y finalmente salir de esta para interactuar con un NPC.

Características	Usuario 1	Usuario 2	Usuario 3	Usuario 4
Edad	31	18	18	24
Género	Masculino	Femenino	Masculino	Femenino
Ocupación	Profesional	Estudiante	Estudiante	Estudiante
Nivel de Educación	Superior	Ed. Media	Ed. Media	Superior
Experiencia con Tecnología	Media	Media	Media	Media
Experiencia previa con VR	Nula	Nula	Nula	Nula

Tabla 1: Usuarios en la Iteración 1

A continuación, se detallan las tareas que debe realizar el usuario, algunas de estas serán dictadas por el narrador y otras por el evaluador.

Tarea 1. Busca tus lentes en el velador cercano:

- El usuario debe localizar visualmente los lentes sobre el velador.
- El usuario debe acercarse al velador y seleccionar los lentes utilizando el control adecuado.

Tarea 2. Ponte los lentes:

- El usuario debe levantar los lentes desde su posición inicial.
- El usuario debe mover los lentes hacia la posición de los ojos del personaje.
- El usuario debe soltar los lentes y estos deben quedarse en su cara.

Tarea 3. Dirígete a la cocina:

- El usuario debe identificar la ubicación de la cocina en el entorno virtual.
- El usuario debe mover al personaje hacia la cocina usando los controles de movimiento.

Tarea 4. Usa tus manos para levantar la losa de la mesa y trasladarla al lavaplatos:

- El usuario debe levantar la losa de la mesa correctamente.
- El usuario debe trasladarse hacia el lavaplatos con la losa aún en las manos.
- El usuario debe soltar la losa en el lavaplatos, quedando los objetos dentro de él.

Tarea 5. Toma el bastón que está junto a la puerta:

- El usuario debe ser capaz de identificar dónde está el bastón.
- El usuario toma el bastón correctamente.

Tarea 6. Abre la puerta:

- El usuario debe tomar la perilla de la puerta.
- El usuario debe tirar de la puerta mientras sostiene la perilla.

Tarea 7. Utiliza el bastón para desplazarte de manera más rápida:

- El usuario apoya el bastón para simular utilizarlo.
- El usuario avanza de manera más rápida utilizando el bastón.

Tarea 8. Acércate al vecino e interactúa con él:

- El usuario debe identificar la ubicación del vecino en el entorno virtual.
- El usuario debe mover al personaje hacia el vecino usando los controles de movimiento.

Tarea 9. Apunta con tu oreja al personaje para escuchar mejor y presiona el botón para escuchar el mensaje nuevamente:

- El usuario debe orientar la oreja del personaje hacia el personaje que habla.
- El usuario debe presionar el botón adecuado para escuchar el mensaje nuevamente.

4.1.2. Desempeño

Los resultados de la fase de testeo muestran marcadas diferencias entre las tareas. La Figura 4 ilustra que en algunos puntos los usuarios se aproximan considerablemente al tiempo referencial, mientras que en otros se observan discrepancias notables.

La Tabla 2 presenta el Índice de Eficiencia (IE) para cada tarea. Destaca particularmente la tarea 1, donde los usuarios tardaron casi 4 veces el tiempo de referencia. Además, se muestra el porcentaje de éxito por tarea, con un promedio del 90.3 %.

La tarea que presentó mayor dificultad requería una coordinación más precisa entre el movimiento del mando de control y los botones a utilizar. Otro resultado sobresaliente en la Figura 4 es la tarea 8, en la que la mayoría de los usuarios invirtieron una parte sustancial de la experiencia. Aunque las tareas 3 y 8 son similares en cuanto a la búsqueda en el entorno virtual, la tarea 8 implicaba localizar algo que no estaba inmediatamente visible, lo que generó dudas en los usuarios sobre si estaban siguiendo el camino correcto.

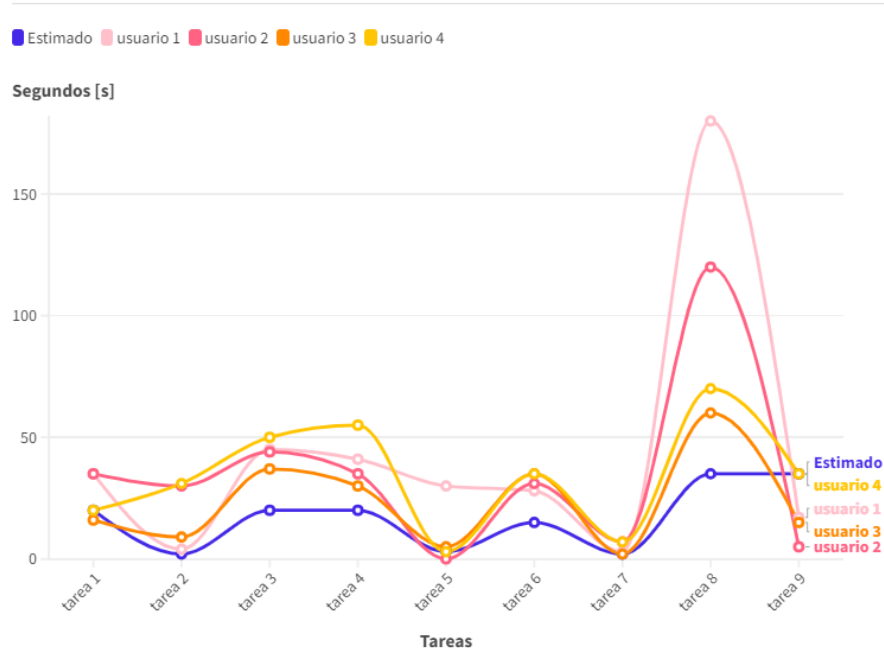


Figura 4: Desempeño de los usuarios en Iteración 1

Tareas	Tiempo Referencial	$\bar{x}_{\text{Tarea}}$	IE	% de éxito
Tarea 1	20	27	1.3	100.0
Tarea 2	5	19	3.8	100.0
Tarea 3	20	44	2.2	100.0
Tarea 4	20	40	2.0	100.0
Tarea 5	5	13	2.6	100.0
Tarea 6	15	32	2.1	100.0
Tarea 7	5	5	1.0	62.5
Tarea 8	35	108	3.1	100.0
Tarea 9	10	18	1.8	50.0
$\bar{x}_{\text{Métricas}}$			2.2	90.3

Tabla 2: Tiempo y éxito por tarea en la iteración 1.

4.1.3. Inmersión

Los resultados muestran una variabilidad significativa en la experiencia de los usuarios. Aunque todas las categorías obtuvieron puntuaciones cercanas al 70 % (Tabla 3), Adaptación/Inmersión registró el puntaje más bajo, sugiriendo que los usuarios enfrentaron desafíos para integrarse plenamente en el entorno virtual. En contraste, Fidelidad Sensorial e Involucramiento alcanzaron las puntuaciones más altas, indicando que el escenario fue lo suficientemente detallado e interactivo para proporcionar una experiencia satisfactoria.

La Tabla 3 revela una disparidad de hasta 63 puntos en los niveles de inmersión entre usuarios. Esto subraya que, a pesar de enfrentarse a la misma experiencia, la capacidad individual para interactuar con el entorno virtual influye directamente en el grado de inmersión alcanzado. Esta variación destaca la importancia de considerar las diferencias individuales al diseñar y evaluar experiencias de realidad virtual.

Categoría	U1	U2	U3	U4	$\bar{x}_{\text{categoría}}$	% Ajustado
Involucramiento	65	72	60	46	60.8	72.3
Adaptación/Inmersión	50	41	40	25	39.0	69.6
Fidelidad Sensorial	37	36	23	26	30.5	72.6
Calidad de la Interfaz	12	18	17	12	14.8	70.2
Resultados PQ	164	167	140	109	145	71.4

Tabla 3: Resultado del Cuestionario de Presencia en la Iteración 1

4.1.4. Discusión

El bajo rendimiento en la categoría de Adaptación/Inmersión, junto con los tiempos prolongados en tareas que requieren coordinación entre movimiento y uso de botones, sugiere que los usuarios enfrentan dificultades para adaptarse a la interfaz de realidad virtual. Esto indica la necesidad de abordar la falta de experiencia de la mayoría de los usuarios con esta tecnología.

Las categorías de Adaptación/Inmersión y Calidad de la Interfaz obtuvieron las puntuaciones más bajas en los cuestionarios de presencia (PQ). Como muestra la Figura 3, estos factores están fuertemente correlacionados, lo que implica que una deficiencia en uno afecta directamente al otro.

Al final de la etapa de testeo, dos usuarios reportaron leves sensaciones de mareo al finalizar la experiencia. Si bien ninguno solicitó abandonar la experiencia, el mareo y la fatiga serán efectos a evaluar en las siguientes iteraciones.

Finalmente, dado que los usuarios dedicaron una parte significativa de la experiencia a localizar objetos dentro del entorno virtual, se evidencia la necesidad de implementar un sistema de orientación complementario a las instrucciones proporcionadas por el narrador.

4.2. Segunda Iteración

4.2.1. Mejoras al prototipo

En este prototipo se procuró incluir audios que fueran más descriptivos respecto a las tareas que debe realizar el usuario, además se implementó un objeto con forma de flecha (Figura 5), el cual se activa una vez que el narrador le indica al usuario que debe dirigirse a un determinado lugar y se desactiva cuando el usuario llega al punto.



Figura 5: Objeto implementado para guiar al usuario

4.2.2. Participantes y Tareas

Para esta iteración se testeó el escenario de una mujer en situación de embarazo, la experiencia comienza en la habitación de la mujer embarazada, para posteriormente dirigirse a un paradero donde deberá tomar un autobús.

Tarea 1. Diríjase hacia la cocina:

- El usuario logra identificar hacia dónde tiene que ir.
- El usuario logra entrar a la cocina.

Tarea 2. Abrir puerta:

- El usuario logra sujetar la manilla.

Características	Usuario 1	Usuario 2	Usuario 3	Usuario 4
Edad	52	55	47	42
Género	Femenino	Masculino	Masculino	Femenino
Ocupación	Trabajador	Trabajador	Trabajador	Trabajador
Nivel de Educación	Media	Media	Media	Media
Experiencia con Tecnología	Baja	Baja	Baja	Baja
Experiencia previa con VR	Nula	Nula	Nula	Nula

Tabla 4: Usuarios en la Iteración 2

- El usuario logra abrir la puerta tirando de ella.

Tarea 3. Sal de la casa:

- El usuario logra identificar la salida de la casa.
- El usuario llega hacia la salida.

Tarea 4. Diríjase hacia la parada de autobuses para poder hacer uso de este:

- El usuario sigue la ruta indicada por el narrador y la flecha.
- El usuario llega al paradero.

Tarea 5. Sujétate de las manillas de la puerta y utilízalas para impulsarte y subir:

- El usuario logra sujetar las manillas.
- El usuario hace los movimientos de impulso con la manilla.
- El usuario logra subir al autobús.

4.2.3. Desempeño

Los resultados presentados en la Tabla 5 reflejan un desempeño generalmente desfavorable. El IE promedio alcanzó un valor de 8.6, destacando negativamente la tarea 5 con una puntuación de 20.3. Adicionalmente, el porcentaje promedio de éxito disminuyó a 67.4 %.

No obstante, las tareas 3 y 4, relacionadas con la navegación hacia ubicaciones específicas, mostraron un rendimiento notablemente superior al resto. En estas tareas, el tiempo promedio de ejecución no llegó a duplicar el tiempo referencial, superando incluso los resultados obtenidos en la primera iteración. Esta mejora también se reflejó en el porcentaje de éxito de dichas tareas, que se situó alrededor del 87 %.

Este contraste en los resultados sugiere que las modificaciones implementadas han tenido un impacto positivo en las tareas de navegación, mientras que otras áreas aún requieren mejoras significativas.

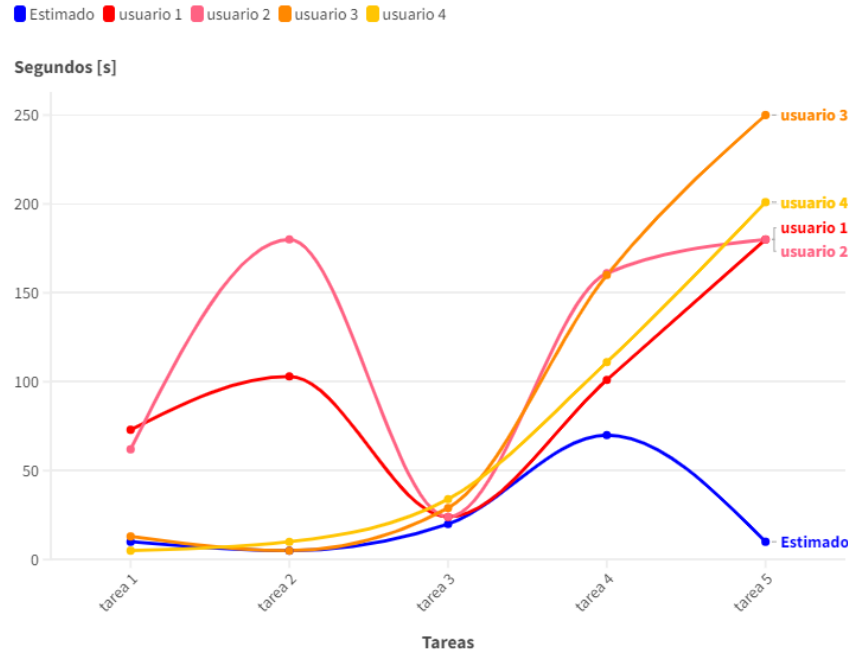


Figura 6: Desempeño de los usuarios en la Iteración 2

Tareas	Tiempo Referencial	$\bar{x}_{\text{Tarea}}$	IE	% de éxito
Tarea 1	10	43.3	4.3	87.5
Tarea 2	5	74.5	14.9	50.0
Tarea 3	20	27.8	1.4	87.5
Tarea 4	70	133.3	1.9	62.5
Tarea 5	10	202.8	20.3	49.5
$\bar{x}_{\text{Métricas}}$			8.6	67.4

Tabla 5: Tiempo y éxito por tarea en la iteración 2.

4.2.4. Inmersión

Los resultados de esta iteración muestran una evolución mixta en las categorías evaluadas. Según la Tabla 4, las categorías de Involucramiento, Fidelidad Sensorial y Calidad de la Interfaz registraron un ligero incremento en sus puntuaciones respecto a la iteración previa. Sin embargo, la categoría de Adaptación/Inmersión experimentó una disminución notable. Como consecuencia, la puntuación promedio del Cuestionario de Presencia (PQ) disminuyó en 5 puntos en comparación con los resultados anteriores (Tabla 6).

En contraste con la iteración anterior, esta vez se observaron resultados más homogéneos en los cuestionarios. Además, el valor mínimo obtenido se elevó a 131 puntos, lo que indica

un aumento en el nivel mínimo de experiencia de los usuarios. Esta mayor consistencia en los resultados y la elevación del umbral mínimo sugieren una mejora en la experiencia base ofrecida por el entorno virtual.

Categoría	U1	U2	U3	U4	$\bar{x}_{\text{categoría}}$	% Ajustado
Involucramiento	55	59	66	59	60	71.4
Adaptación/Inmersión	30	28	42	29	32.3	57.6
Fidelidad Sensorial	31	30	35	30	31.5	75.0
Calidad de la Interfaz	17	14	17	16	16.0	76.2
Resultados PQ	133	131	160	134	139.5	68.7

Tabla 6: Resultado del Cuestionario de Presencia en la Iteración 2

4.2.5. Discusión

El perfil de usuario empleado en esta fase de testeo difirió significativamente del utilizado en la primera iteración. Mientras que inicialmente se trabajó con jóvenes relativamente familiarizados con la tecnología, en esta ocasión se recurrió a personas de mayor edad con experiencia directa o cercana en situaciones de embarazo. Este cambio buscaba obtener una opinión más representativa y evaluar la fidelidad del escenario en la recreación de esta condición.

Como consecuencia, la puntuación en la categoría de Adaptación/Inmersión resultó aún menor que en la primera iteración, reforzando la necesidad de abordar la falta de experiencia de los usuarios con las herramientas de realidad virtual.

Se notificaron nuevamente sensaciones de mareo y fatiga por parte de dos usuarios al finalizar la experiencia. Ambos fueron los que más tiempo tardaron en realizar el testeo. Esto estuvo acompañado de un cansancio visual debido al uso prolongado de los lentes de realidad virtual.

Aunque los resultados generales de las tareas no alcanzaron los niveles deseados, se observaron mejoras notables en las tareas direccionales. Esto sugiere que el elemento de apoyo implementado en la iteración anterior fue efectivo, respaldado por los comentarios recogidos en las Tablas 20 y 21.

4.3. Tercera Iteración

4.3.1. Mejoras al prototipo

Para esta iteración se implementaron tutoriales sobre cómo utilizar los mandos de control para moverse por el entorno virtual (Figura 7), debido a que el factor de Adaptación/Inmersión es el que posee mayor correlación con el resto de los factores se espera que esto genere una mejora en los resultados del PQ en general (Figura 3).



Figura 7: Tutorial visual para escenario de silla de ruedas

4.3.2. Participantes y Tareas

Para el prototipo 3 se testeo el escenario de silla de ruedas, la experiencia comienza en la habitación de una casa donde el usuario realiza una serie de tareas cotidianas, luego se dirige al paradero para tomar el autobús y por último realiza una visita al cine.

Características	U1	U2	U3	U4
Edad	31	29	24	20
Género	Femenino	Masculino	Femenino	Femenino
Ocupación	Trabajador	Profesional	Trabajador	Estudiante
Nivel de Educación	Media	Superior	Superior	Superior
Experiencia con Tecnología	Baja	Alta	Alta	Media
Experiencia previa con VR	Nula	Nula	Nula	Nula

Tabla 7: Usuarios en la Iteración 3

Tarea 1. Dirígete hacia el baño:

- El usuario logra identificar el baño.
- El usuario logra entrar al baño.

Tarea 2. Toma el cepillo de dientes y usa tu otra mano para tomar la pasta de dientes y aplicarla en el cepillo:

- El usuario toma el cepillo y la pasta de dientes.
- El usuario se cepilla los dientes hasta llegar al 100 %.

Tarea 3. Abre la llave del lavado para que el agua comience a correr, si quieres enjuagarte la boca, puedes hacerlo utilizando el vaso que está cerca:

- El usuario activa el grifo del lavado.
- El usuario toma y llena el vaso con agua.
- El usuario bebe y escupe el agua en el lavadero.

Tarea 4. Dirígete a la cocina:

- El usuario logra identificar la cocina.
- El usuario logra entrar a la cocina.

Tarea 5. Toma el jarro de café y sírvete una taza:

- El usuario identifica donde está la taza de café.
- El usuario sirve su taza de café.

Tarea 6. Acerca la taza a tu boca y bebe el café:

- El usuario logra tomar su taza de café.

Tarea 7. Dirígete hacia la puerta principal:

- El usuario identifica la puerta principal.
- El usuario llega a la puerta principal.

Tarea 8. Abrir puerta:

- El usuario toma la manilla de la puerta.
- El usuario abre la puerta tirando de la manilla.

Tarea 9. Dirigirse a la parada de autobús:

- El usuario sigue una ruta en dirección de la parada de autobús.
- El usuario llega a la parada de autobuses.

Tarea 10. Sube al autobús por la rampa desplegable y dirígete hacia la zona para silla de ruedas:

- El usuario logra ingresar a la rampa.
- El usuario sube al bus.
- El usuario se posiciona en la zona preferencial.

Tarea 11. Utiliza el ascensor a la izquierda de la taquilla para poder llegar a la sala:

- El usuario logra abrir el ascensor.
- El usuario logra entrar al ascensor.
- El usuario logra subir en el ascensor.

Tarea 12. Dirígete a la taquilla y compra la opción deseada en la pantalla:

- El usuario llega a la taquilla.
- El usuario compra un boleto.
- El usuario paga con éxito.

Tarea 13. Toma tus botanas y colócalas en tu regazo:

- El usuario toma los productos comprados.
- El usuario posiciona los productos en su regazo.

Tarea 14. Dirígete hacia la izquierda y continúa hacia el fondo del pasillo:

- El usuario se direcciona hacia el cine.
- El usuario se posiciona en el lugar preferencial.

4.3.3. Desempeño

Los resultados de esta iteración muestran una mejora significativa en comparación con las anteriores. El IE descendió a 2.7 (Tabla 8), representando el mejor desempeño observado en las tres iteraciones realizadas hasta ahora.

Es relevante mencionar que uno de los participantes optó por abandonar la experiencia tras no poder completar la tarea 5, dando un porcentaje de abandono del 25 %. En esta iteración, solo un usuario reportó sensaciones de mareo y fatiga. A pesar de esto, el porcentaje de éxito promedio en esta iteración alcanzó un notable 90.8 %.

Esta combinación de un IE más bajo y un alto porcentaje de éxito sugiere que las modificaciones implementadas han tenido un impacto positivo en la usabilidad y eficiencia general del sistema. Sin embargo, el abandono de un usuario indica que aún pueden existir áreas específicas que requieren atención.

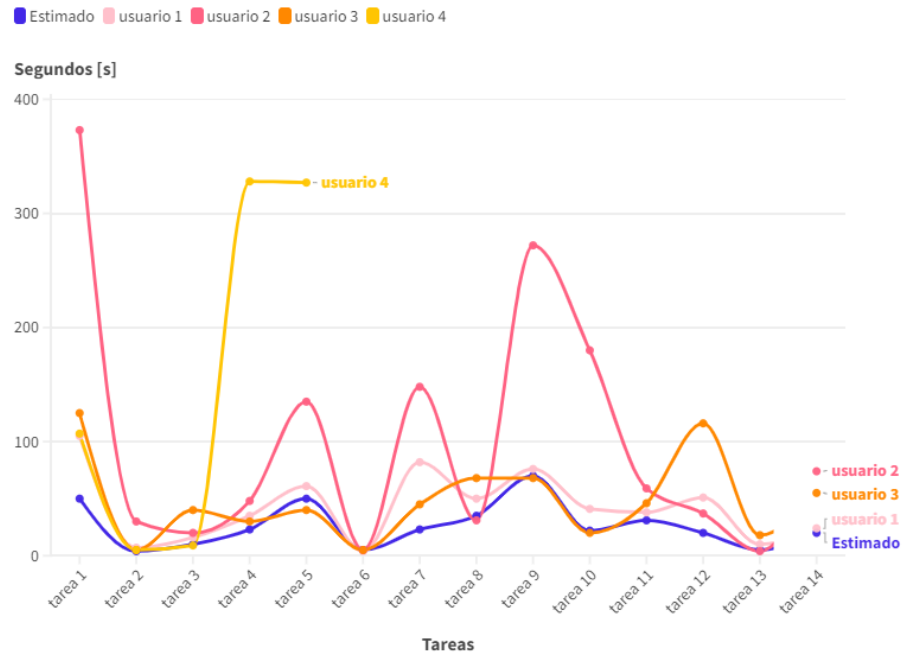


Figura 8: Desempeño de los usuarios en la Iteración 3

Tareas	Tiempo Referencial	$\bar{x}_{\text{Tarea}}$	IE	% de éxito
Tarea 1	50	195.0	3.9	100.0
Tarea 2	5	11.8	2.4	100.0
Tarea 3	10	21.3	2.1	91.5
Tarea 4	23	110.3	4.8	87.5
Tarea 5	50	140.8	2.8	62.5
Tarea 6	5	4.7	0.9	100.0
Tarea 7	23	91.7	4.0	100.0
Tarea 8	35	49.7	1.4	100.0
Tarea 9	70	138.7	2.0	100.0
Tarea 10	22	80.3	3.7	66.7
Tarea 11	31	47.7	1.5	100.0
Tarea 12	20	68.0	3.4	100.0
Tarea 13	5	10.3	2.1	100.0
Tarea 14	20	51.0	2.6	100.0
$\bar{x}_{\text{Métricas}}$			2.7	90.8

Tabla 8: Tiempo y éxito por tarea en la iteración 3.

4.3.4. Inmersión

Los resultados de esta iteración mostraron una mejora sustancial respecto a la anterior. La Tabla 7 revela un incremento de aproximadamente 27 puntos porcentuales en categoría de Adaptación/Inmersión. Las demás categorías también experimentaron un crecimiento significativo, alrededor de 10 puntos porcentuales cada una. Como consecuencia, el promedio total de los resultados alcanzó los 170 puntos, superando en 30 puntos los resultados previos.

Este marcado incremento en los niveles de inmersión se atribuye principalmente al uso de un prototipo más completo y elaborado. La nueva versión ofrece una mayor diversidad de tareas y estímulos sensoriales, lo que contribuyó directamente al aumento en la fidelidad sensorial y la inmersión general. Además, la extensión ampliada de la experiencia proporciona a los usuarios más tiempo para adaptarse al entorno virtual, facilitando una inmersión más profunda y sostenida.

Categoría	U1	U2	U3	U4	$\bar{x}_{\text{categoría}}$	% Ajustado
Involucramiento	71	72	74	64	72.3	86.1
Adaptación/Inmersión	47	48	49	45	47.3	84.4
Fidelidad Sensorial	35	38	37	31	35.3	83.9
Calidad de la Interfaz	15	18	19	19	17.8	84.5
Resultados PQ	168	176	179	159	170.5	84.0

Tabla 9: Resultado del Cuestionario de Presencia en la Iteración 3

4.3.5. Discusión

Se observó una mejora significativa en el porcentaje de éxito de las tareas realizadas por los usuarios. Sin embargo, los tiempos de ejecución aún se mantienen considerablemente por encima del estándar establecido. Esta discrepancia se atribuye principalmente a la falta de familiaridad de los usuarios con el manejo de la silla de ruedas virtual, lo cual afectó el desempeño en la mayoría de las tareas.

Los participantes demostraron comprender los objetivos de cada tarea, pero experimentaron dificultades en la ejecución debido a los desafíos que presentaba la traslación y rotación de la silla de ruedas virtual. La complejidad de este aspecto y las sensaciones de mareo ocasionaron que un usuario abandonara la experiencia, a pesar de que la aplicación incluye un tutorial específico sobre el manejo de la silla de ruedas.

Esta situación subraya la importancia de perfeccionar la interfaz de control de la silla de ruedas y posiblemente expandir el tutorial para facilitar una adaptación más rápida y efectiva de los usuarios. Además, sugiere que podría ser beneficioso considerar un período de práctica más extenso antes de iniciar las tareas principales de la experiencia.

4.4. Cuarta Iteración

4.4.1. Mejoras al prototipo

Se notó una deficiencia en la ambientación de los entornos virtuales principalmente fuera de la casa, se implementaron sonidos ambientales, un sistema de tránsito más completo que busca que el usuario alerte más sus sentidos y sea más cauteloso a la hora de transitar por la vía pública, y NPCs que generen una experiencia más enriquecedora. Además, se implementaron tutoriales sobre como subir correctamente al autobús recordando que esta fue la tarea que más complicó a los usuarios en la segunda iteración.



Figura 9: Usuario interactuando con el sistema de tránsito



Figura 10: Usuario observando NPC moviéndose por el entorno



Figura 11: Tutorial para subir el autobús

4.4.2. Participantes y Tareas

Para el prototipo 4 se combinarán tareas de todos los escenarios, primero se comienza seleccionando el avatar que más le guste al usuario para el escenario de una mujer en situación de embarazo, posteriormente se dirige al paradero para asistir a su cita con el médico donde debe tomar una hora, interactuar con un NPC y hacerse una ecografía, luego se testea el escenario de silla de ruedas donde el usuario debe comprar una serie de productos en una tienda.

Características	Usuario 1	Usuario 2	Usuario 3	Usuario 4
Edad	22	29	18	18
Género	Femenino	Femenino	Masculino	Masculino
Ocupación	Estudiante	Profesional	Estudiante	Estudiante
Nivel de Educación	Superior	Superior	Media	Media
Experiencia con Tecnología	Media	Baja	Alta	Media
Experiencia previa con VR	Nula	Nula	Nula	Nula

Tabla 10: Usuarios en la Iteración 4

A continuación, se enumeran las tareas a realizar. **(Escenario de Mujer en situación de Embarazo).**

Tarea 1. Dirígete al paradero:

- El usuario sigue una ruta en dirección al paradero.
- El usuario logra llegar al paradero.

Tarea 2. Sube al autobús:

- El usuario se sujeta de las manillas.
- El usuario realiza el movimiento necesario para subir al autobús.
- El usuario sube al autobús.

Tarea 3. Dirígete a la zona de atención:

- El usuario logra identificar la zona de atención.
- El usuario llega a la zona de atención.

Tarea 4. Agenda una hora:

- El usuario logra interactuar con la pantalla.
- El usuario ingresa los dígitos requeridos.

Tarea 5. Dirígete a la zona de espera:

- El usuario logra identificar la zona de espera.

- El usuario se posiciona en su asiento para esperar a ser llamado.

Tarea 6. Asiste a tu consulta con el médico:

- El usuario ingresa a la consulta al ser llamado.
- El usuario se posiciona en la camilla.

(Cambio de escenario a persona en Silla de Ruedas)

Tarea 7. Dirígete a la tienda:

- El usuario logra ingresar a la tienda.

Tarea 8. Recolecta los productos indicados:

- El usuario identifica los productos que se le indicaron.
- El usuario posiciona los productos en su regazo.

Tarea 9. Paga tus productos en la caja:

- El usuario interactúa con la cajera para comprar sus productos.
- El usuario paga sus productos.

4.4.3. Desempeño

En esta iteración, el IE promedio aumentó a 3.8, con un desempeño particularmente bajo en las tareas 2 y 7. La tarea 2 exigía un manejo muy preciso de los mandos de control, donde cualquier error mínimo obligaba a reiniciar la tarea completa. Por su parte, la tarea 7 presentaba un desafío significativo al requerir que los usuarios subieran una rampa con suficiente velocidad para vencer la gravedad. Aunque existían técnicas como girar las ruedas alternadamente, los usuarios no implementaron estas estrategias.

El porcentaje de éxito se mantuvo, alcanzando un 89.3 %. Sin embargo, es importante destacar que 2 usuarios decidieron abandonar la experiencia debido principalmente a la dificultad del manejo de la silla de ruedas en el entorno virtual, uno de ellos reportó sensaciones de mareo, por lo que el porcentaje de abandono es del 50 %. Estos resultados sugieren que, si bien se ha logrado una mejora en la tasa de finalización de tareas, persisten desafíos significativos en cuanto a la usabilidad y la curva de aprendizaje del sistema. La complejidad del manejo de la silla de ruedas virtual parece ser un obstáculo importante, indicando la necesidad de refinar los controles o proporcionar un entrenamiento más extenso a los usuarios antes de las tareas principales.

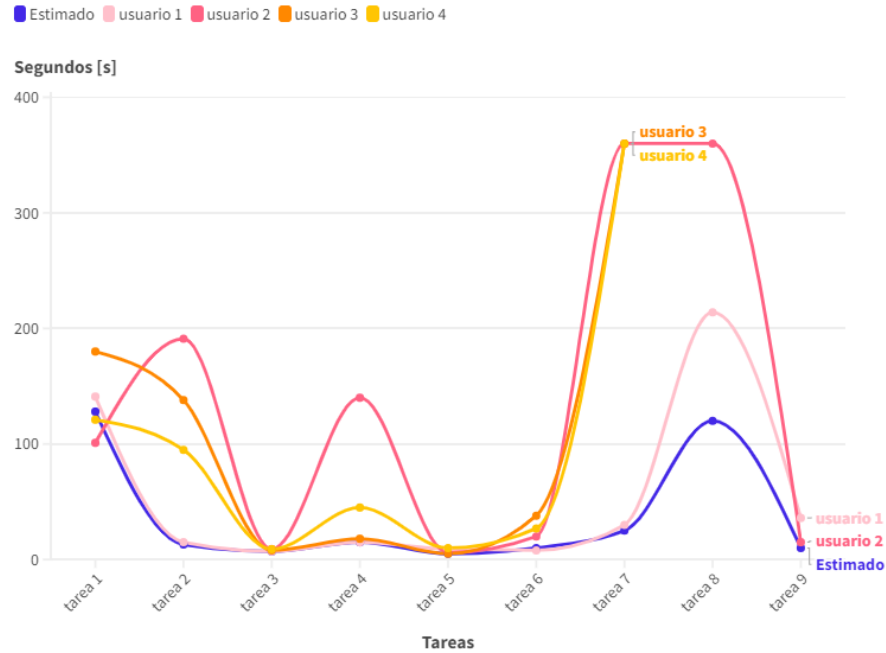


Figura 12: Desempeño de los usuarios en la Iteración 4

Tareas	Tiempo Referencial	$\bar{x}_{\text{Tarea}}$	IE	% de éxito
Tarea 1	128.0	135.8	1.1	100.0
Tarea 2	13.0	109.8	8.4	91.5
Tarea 3	7.0	8.3	1.2	100.0
Tarea 4	15.0	54.5	3.6	87.5
Tarea 5	5.0	7.5	1.5	100.0
Tarea 6	10.0	24.5	2.5	91.5
Tarea 7	25.0	268.8	10.8	50.0
Tarea 8	120.0	203.0	1.7	100.0
Tarea 9	10.0	30.5	3.1	100.0
$\bar{x}_{\text{Métricas}}$			3.8	89.3

Tabla 11: Tiempo y éxito por tarea en la iteración 4.

4.4.4. Inmersión

Los resultados muestran una disminución de casi 10 puntos en la sensación de presencia promedio en comparación con la iteración anterior. Este descenso se atribuye principalmente al cambio de escenario, que afectó la continuidad de la experiencia. Aunque todas las categorías experimentaron una reducción, la Calidad de la Interfaz fue la más impactada. Esto se debió a problemas técnicos donde, al mover la cabeza, elementos del personaje como el cabello o las cejas se superponían a la vista del usuario, interrumpiendo la inmersión.

En esta iteración, se introdujo la opción de que los usuarios eligieran su personaje, con la expectativa de aumentar la sensación de presencia a través de una mejor identificación. Sin embargo, esta modificación no produjo mejoras perceptibles en los resultados. Una posible explicación es que, al ser un juego en primera persona, el personaje elegido solo es visible al inicio de la experiencia, limitando su impacto en la inmersión general.

Categoría	U1	U2	U3	U4	$\bar{x}_{\text{categoría}}$	% Ajustado
Involucramiento	77	58	72	52	67.5	80.4
Adaptación/Inmersión	51	43	50	37	45.3	80.8
Fidelidad Sensorial	40	32	38	28	34.5	82.1
Calidad de la Interfaz	17	15	14	15	15.3	72.6
Resultados PQ	185	148	174	132	159.8	78.7

Tabla 12: Resultado del Cuestionario de Presencia en la Iteración 4

4.4.5. Discusión

El escenario de silla de ruedas destacó por presentar el mayor número de abandonos a lo largo de las cuatro iteraciones, acumulando un total de tres. Adicionalmente, dos participantes no lograron superar la primera tarea del escenario. Estos abandonos se atribuyeron principalmente a la dificultad que experimentaron los usuarios al manipular la silla de ruedas virtual. El bajo rendimiento en las tareas generó una cascada de efectos negativos, incluyendo frustración, ansiedad y mareo, entre otras sensaciones desagradables reportadas por los usuarios.

Para abordar esta problemática, se propone implementar un sistema de asistencia adicional en el manejo de la silla de ruedas. Se identificó que la raíz del problema radica en la percepción errónea del usuario sobre su interacción con las ruedas: a menudo creen estar tocando la rueda cuando en realidad están lejos de ella. La retroalimentación háptica actual, mediante vibración, parece ser insuficiente para captar la atención del usuario, y aumentar su intensidad podría resultar molesto durante el movimiento.

CAPÍTULO 5

Evaluación Final de Inmersión

A lo largo de las iteraciones, se exploraron los tres escenarios de LifeSwapp, cada uno simulando una experiencia de vida distinta. En el primer escenario, los usuarios experimentaron ser una persona de la tercera edad, enfrentando desafíos como movilidad reducida y problemas de visión. El escenario de embarazo se centró en la fatiga acumulada y la dificultad de subir al transporte público. El tercer escenario, que requería el uso de una silla de ruedas, resultó ser el más desafiante para los participantes, ya que todas las tareas implicaban maniobrar la silla, ya fuera esquivando obstáculos o posicionándose correctamente para realizar las actividades.

Dado que el escenario de silla de ruedas presentó la mayor complejidad para los usuarios, la última iteración se enfocará en testear un prototipo mejorado de este escenario. Se implementarán nuevas mejoras para abordar los problemas identificados en las iteraciones anteriores, buscando optimizar la experiencia del usuario y la usabilidad del sistema.

Con el fin de garantizar que los niveles de inmersión y experiencia de usuario sean correctos y representativos, se ampliará la muestra a 30 personas para este testeo final. Esta expansión en el número de participantes permitirá obtener una evaluación más precisa y confiable de la efectividad de las mejoras implementadas en el escenario de silla de ruedas.

5.1. Mejoras al prototipo

Para abordar los desafíos identificados en las iteraciones anteriores, se han implementado varias mejoras significativas. Se ha añadido un escenario introductorio al inicio de la experiencia, diseñado específicamente para enseñar el uso correcto de la silla de ruedas virtual en un entorno controlado. Este escenario incorpora videos explicativos que se presentan de manera progresiva, según el avance del usuario.

Reconociendo que la información háptica (vibración) no era suficiente para indicar la interacción con las ruedas, se ha implementado una retroalimentación visual adicional. Ahora, las ruedas brillan cuando el usuario las toma, buscando mejorar la percepción de profundidad y facilitar una maniobra más eficiente de la silla.

Además, el prototipo a testear en esta iteración será más corto que en las versiones anteriores. Esta reducción en la duración tiene como objetivo minimizar la fatiga acumulada y la sensación de mareo que algunos usuarios experimentaron en sesiones más largas.

Estas modificaciones buscan mejorar significativamente la curva de aprendizaje, la usabilidad y el confort general de la experiencia, abordando directamente los principales obstáculos identificados en las iteraciones previas.



Figura 13: Escenario tutorial para silla de ruedas

5.2. Participantes y Tareas

El usuario comienza la experiencia dentro del cine, primero se le muestra un espejo frente a él que busca fortalecer la sensación de inmersión y además enseñarle cómo se reflejan sus movimientos del mundo real en el mundo virtual, luego el usuario realizará un tutorial sobre cómo utilizar correctamente la silla de ruedas, posterior a esto el usuario debe adquirir todo lo necesario para asistir a una función de cine, para llegar a la sala tendrá que utilizar el ascensor y buscar su sala dentro del cine, por último deberá acceder al lugar de asientos preferenciales.

Características	Descripción
Cantidad de usuarios	30
Edad	20-25 años
Género	M/F
Ocupación	Estudiantes
Nivel de Educación	Superior
Experiencia con Tecnología	Alta
Experiencia previa con VR	Baja

Tabla 13: Participantes

Tarea 1. Completa la ruta de tutorial:

- El usuario logra moverse en la silla de ruedas a voluntad.

- El usuario llega hasta el final de la ruta tutorial.

Tarea 2. Dirígete a la taquilla:

- El usuario logra identificar la taquilla.
- El usuario llega a la taquilla.

Tarea 3. Compra tu boleto:

- El usuario selecciona el boleto para comprarlo.
- El usuario paga los objetos seleccionados.
- El usuario toma los objetos comprados y los posiciona en su regazo.

Tarea 4. Dirígete al ascensor:

- El usuario logra identificar el ascensor.
- El usuario llega al ascensor.

Tarea 5. Utiliza el ascensor:

- El usuario logra abrir el ascensor.
- El usuario ingresa a tiempo al ascensor.
- El usuario sube de piso utilizando el ascensor.

Tarea 6. Dirígete a la sala de cine:

- El usuario logra identificar la sala de cine.
- El usuario ingresa a la sala de cine.

Tarea 7. Posiciónate para ver la película:

- El usuario logra identificar el asiento preferencial.
- El usuario se posiciona en el asiento preferencial.

5.3. Desempeño

Los resultados de las pruebas de usuario en el testeo final demostraron ser muy positivos. Ningún IE alcanzó el valor de 3, lo que indica que, en general, los usuarios tardaron algo más del doble del tiempo referencial para completar las tareas asignadas. Este dato sugiere una mejora significativa en la eficiencia y usabilidad del sistema en comparación con iteraciones anteriores.

El porcentaje de éxito fue notablemente alto, llegando al 97.9 %, lo que refleja que la gran mayoría de los participantes lograron completar las tareas satisfactoriamente. Sin embargo, es importante señalar que 4 personas decidieron abandonar la experiencia debido a estrés y sensaciones de mareo, lo que representa una tasa de abandono del 13 %.

Tareas	Tiempo Referencial	$\bar{x}_{\text{Tarea}}$	IE	% de éxito
Tarea 1	35.0	74.3	2.1	96.7
Tarea 2	10.0	21.3	2.1	100.0
Tarea 3	45.0	89.0	2.0	89.9
Tarea 4	10.0	24.1	2.4	100.0
Tarea 5	30.0	66.0	2.2	98.7
Tarea 6	18.0	38.8	2.2	100.0
Tarea 7	10.0	28.2	2.8	100.0
$\bar{x}_{\text{Métricas}}$			2.3	97.9

Tabla 14: Tiempo y éxito por tarea en la iteración final.

5.4. Inmersión

Los resultados obtenidos reflejan el nivel de inmersión final alcanzado tras el desarrollo, testeo y análisis de cuatro prototipos sucesivos. La categoría que obtuvo el puntaje más alto fue Involucramiento, un aspecto crucial que abarca una amplia gama de preguntas en el cuestionario. Adaptación y Fidelidad Sensorial siguen muy de cerca, mientras que Calidad de la Interfaz se posiciona en último lugar.

La puntuación final promedio, basada en los 30 usuarios evaluados, alcanzó 163.4 puntos, lo que representa un 80.5 % del máximo posible. Estos resultados son notablemente superiores a los obtenidos en la primera iteración, evidenciando una mejora significativa en la experiencia de inmersión a lo largo del proceso de desarrollo.

Categoría	$\bar{x}_{\text{categoría}}$	% Ajustado
Involucramiento	67.8	80.7
Adaptación	45.1	80.5
Fidelidad Sensorial	33.7	80.3
Calidad de la Interfaz	16.6	78.9
Resultados PQ	163.4	80.5

Tabla 15: Presencia en la iteración Final

5.5. Discusión

Los resultados finales del estudio son notablemente positivos. Se logró alcanzar un nivel de inmersión del 80.5 %, lo que indica un alto grado de compromiso y presencia de los usuarios en el entorno virtual. El IE promedio en la última iteración fue de 2.3, reflejando una mejora significativa en la ejecución de tareas por parte de los usuarios. Además, se obtuvo un porcentaje de éxito del 97.9 %, demostrando que la gran mayoría de los participantes fueron capaces de completar las tareas asignadas.

La decisión de reducir la duración de los prototipos mostró resultados positivos en cuanto a la disminución de las sensaciones de mareo y fatiga experimentadas por los usuarios. En esta prueba final, solo el 13 % de los participantes abandonó la experiencia, a diferencia del 50 % de abandono que se obtuvo en la 4 iteración.

CAPÍTULO 6

Conclusiones

6.1. Resultados Finales

Los resultados obtenidos en la evaluación final respaldaron los obtenidos en los últimos prototipos de la aplicación. Los niveles de inmersión y desempeño sobrepasaron con creces los obtenidos en los primeros prototipos, y las sensaciones de mareo y fatiga fueron cada vez menores. Estos resultados responden a un análisis minucioso y detallado de la sensación de presencia, un factor cuyo estudio ha ido en incremento en los últimos años gracias a investigadores como Slater, Witmer y otros.

El aumento en los niveles de inmersión se alinea con la teoría de Slater sobre la “ilusión de lugar”, que sugiere que una experiencia virtual convincente puede provocar reacciones similares a las de situaciones reales. Por otro lado, el incremento en el desempeño de los usuarios refleja los principios de Witmer sobre la importancia de la interactividad y el control en la generación de presencia.

6.2. Validación de Metodología de Desarrollo basada en Prototipos

Al inicio de este proyecto se resaltó la importancia de adoptar una metodología de desarrollo que fuese consistente con los requerimientos del proyecto brindando la flexibilidad necesaria para poder ir ajustando la aplicación a medida que se obtenían datos cualitativos y cuantitativos.

La metodología de desarrollo basada en prototipos respondió muy bien a los requerimientos, ya que permitió obtener retroalimentaciones importantes en las fases tempranas del proyecto. Esto ayudó a identificar y corregir problemas comunes que se presentan al utilizar realidad virtual, como la desorientación del usuario, la pronunciada curva de aprendizaje y la sensación de mareo que experimentan los usuarios al sumergirse en un entorno virtual.

6.3. Medición y Mejora de la Sensación de Presencia

Utilizar el cuestionario de presencia elaborado por Witmer y Singer resultó ser una excelente forma de medir la sensación de presencia que experimentaron los usuarios, su forma de composición basado en las categorías de Adaptación/Inmersión, Involucramiento, Fidelidad Sensorial y Calidad de la Interfaz, permitió identificar de manera más precisa las áreas de mejora.

La sensación de presencia en el proyecto mostró una evolución variable a lo largo de las iteraciones. Inicialmente, los niveles de inmersión fueron bastante aceptables, gracias al considerable esfuerzo invertido en crear prototipos inmersivos, aunque aún quedaban detalles por perfeccionar. La segunda iteración experimentó una disminución significativa en la inmersión, atribuida a un cambio drástico en el perfil de los usuarios participantes. Sin embargo, en las iteraciones tercera y cuarta, se logró recuperar la tendencia positiva, principalmente debido a la mejora en el desempeño de los usuarios y la implementación de elementos que permitían volver el entorno más inmersivo, lo que permitió retomar y superar los niveles iniciales de sensación de presencia.

6.4. Medición y Mejora de la Experiencia de Usuario

En la última iteración se reflejaron resultados muy superiores a los obtenidos en la primera, todas las métricas que se utilizaron, presentaron una tendencia a lo largo de los 5 prototipos. La mejora continua que provee la metodología de desarrollo jugó un papel clave en mejorar la experiencia de usuario.

Una experiencia de usuario satisfactoria en realidad virtual no solo implica una interfaz intuitiva y fácil de usar, sino también la capacidad de generar una sensación de presencia convincente y envolvente. Estudiarla de manera independiente permitió dar un enfoque más específico en los elementos que la componen, mejorando la calidad global de la interacción del usuario con el entorno virtual.

Mediante el análisis de los datos obtenidos de cuestionarios diseñados para medir esta sensación, se pudo identificar con precisión los aspectos que necesitaban ajustes o mejoras. Este enfoque permitió implementar cambios dirigidos específicamente a aumentar la sensación de presencia, lo que resultó en una experiencia más rica y satisfactoria para los usuarios. La atención detallada a esta faceta de la realidad virtual aseguró que los usuarios no solo interactuaran con el entorno, sino que también se sintieran plenamente inmersos y presentes dentro de él.

Mejorar la experiencia de usuario en la aplicación de realidad virtual LifeSwapp fue un desafío significativo. El objetivo de la aplicación es generar conciencia sobre las experiencias de vida de personas en situación de embarazo, vejez o uso de silla de ruedas. Para lograr esta conciencia, se presentan dificultades y problemas que el usuario debe enfrentar. Por otro lado, la aplicación debe brindar las herramientas necesarias, ya sea información, elementos visuales, elementos auditivos etc. para que el usuario pueda superar estos desafíos. Aunque estas dos metas pueden parecer contrapuestas, se logró alcanzar un punto de equilibrio en el que los usuarios experimentaron de primera mano estas dificultades y, al mismo tiempo, fueron capaces de superarlas con el apoyo adecuado proporcionado por la aplicación.

6.5. Trabajo a Futuro

La experiencia de usuario en entornos de realidad virtual se encuentra aún en una etapa incipiente, donde la única regla establecida es precisamente la ausencia de reglas. Este campo emergente demanda un enfoque de constante investigación, innovación y prueba para construir una base sólida que garantice experiencias satisfactorias en la realidad virtual.

El trabajo futuro en esta área debe centrarse en la creación e implementación de nuevas métricas que permitan medir la sensación de presencia de manera más objetiva. Esto implica el desarrollo de métodos de observación más precisos, así como la exploración de técnicas para detectar y medir directamente las reacciones fisiológicas y los estímulos generados en el cuerpo del usuario durante su interacción con entornos virtuales. Estas líneas de investigación no solo contribuirán a una comprensión más profunda de la experiencia del usuario en la realidad virtual, sino que también sentarán las bases para el diseño de experiencias más inmersivas y efectivas en una amplia gama de aplicaciones.

ANEXOS

Cuestionario

Presence Questionnaire Item Stems (Versión 3.0)

1. How much were you able to control events?
2. How responsive was the environment to actions that you initiated (or performed)?
3. How natural did your interactions with the environment seem?
4. How much did the visual aspects of the environment involve you?
5. How much did the auditory aspects of the environment involve you?
6. How natural was the mechanism which controlled movement through the environment?
7. How compelling was your sense of objects moving through space?
8. How much did your experiences in the virtual environment seem consistent with your real world experiences?
9. Were you able to anticipate what would happen next in response to the actions that you performed?
10. How completely were you able to actively survey or search the environment using vision?
11. How well could you identify sounds?
12. How well could you localize sounds?
13. How well could you actively survey or search the virtual environment using touch?
14. How compelling was your sense of moving around inside the virtual environment?
15. How closely were you able to examine objects?
16. How well could you examine objects from multiple viewpoints?
17. How well could you move or manipulate objects in the virtual environment?
18. How involved were you in the virtual environment experience?
19. How much delay did you experience between your actions and expected outcomes?
20. How quickly did you adjust to the virtual environment experience?
21. How proficient in moving and interacting with the virtual environment did you feel at the end of the experience?
22. How much did the visual display quality interfere or distract you from performing assigned tasks or required activities?
23. How much did the control devices interfere with the performance of assigned tasks or with other activities?
24. How well could you concentrate on the assigned tasks or required activities rather than on the mechanisms used to perform those tasks or activities?
25. How completely were your senses engaged in this experience?

26. How easy was it to identify objects through physical interaction, like touching an object,

walking over a surface, or bumping into a wall or object?

27. Were there moments during the virtual environment experience when you felt completely focused on the task or environment?

28. How easily did you adjust to the control devices used to interact with the virtual environment?

29. Was the information provided through different senses in the virtual environment (e.g., vision, hearing, touch) consistent?

Cuestionario utilizado en el estudio. Fuente: [Witmer *et al.*, 2005].

Resultados cuestionario de presencia

6.1. Resultados iteración 1

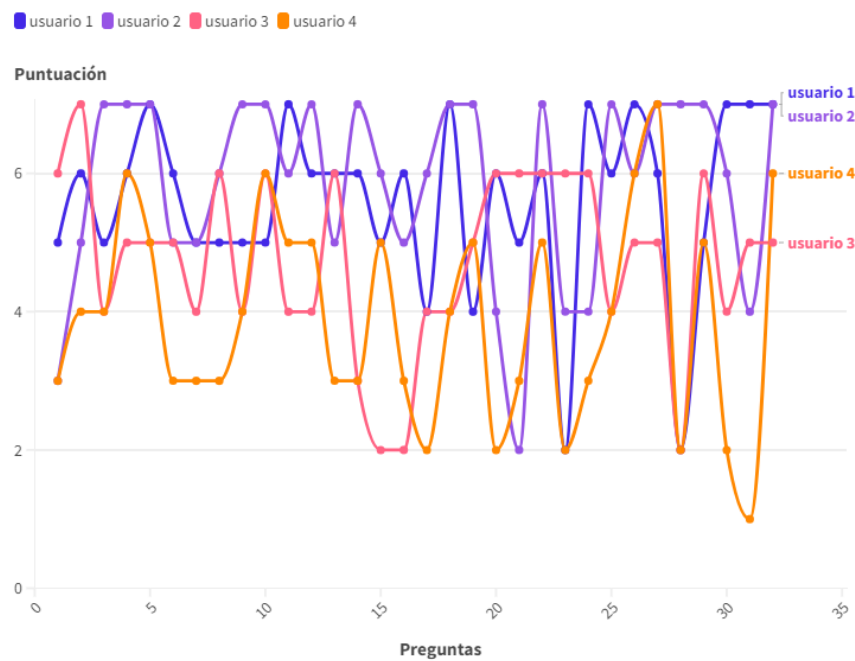


Figura 14: Gráfico de puntuación en el cuestionario de presencia en la iteración 1.

6.2. Resultados iteración 2

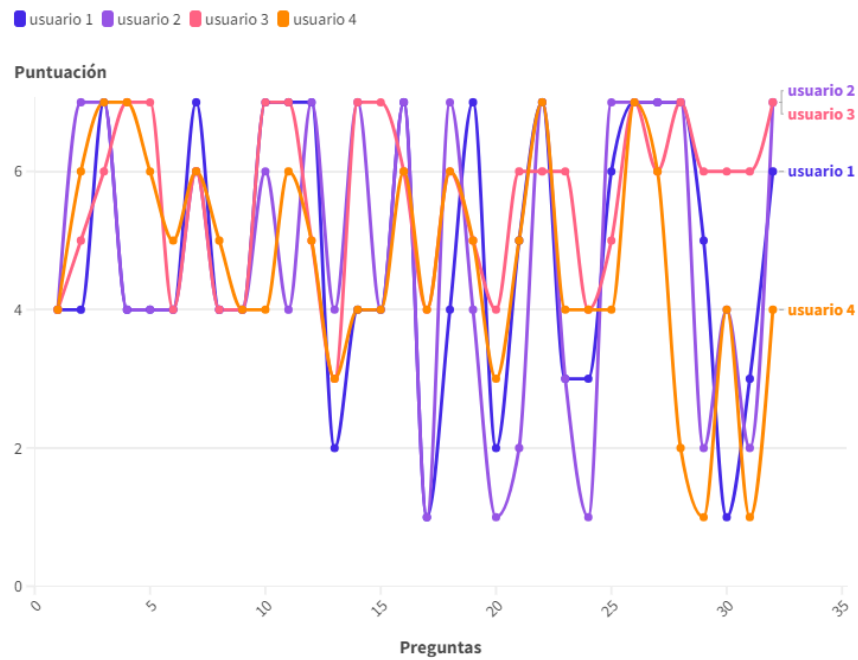


Figura 15: Gráfico de puntuación en el cuestionario de presencia en la iteración 2.

6.3. Resultados iteración 3

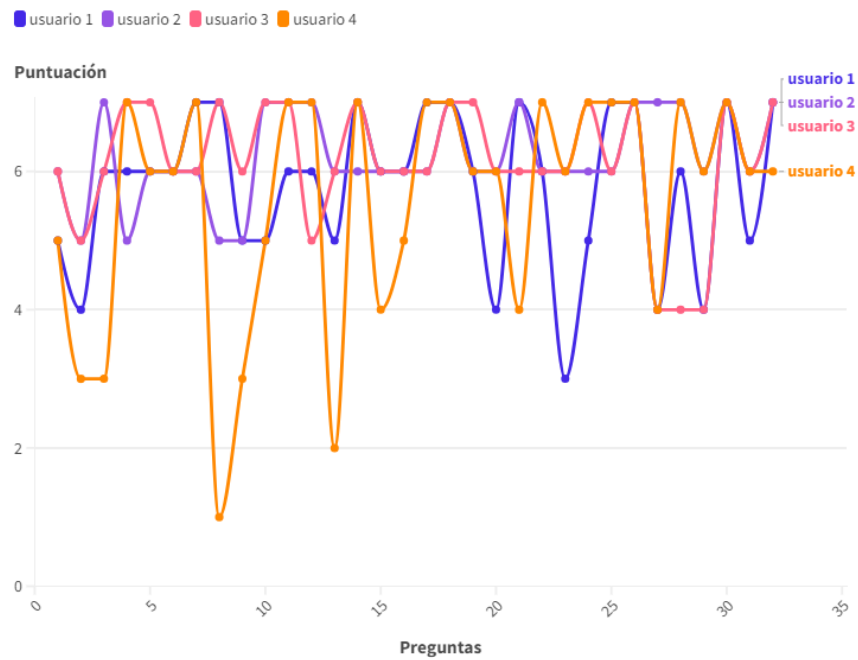


Figura 16: Gráfico de puntuación en el cuestionario de presencia en la iteración 3.

6.4. Resultados iteración 4

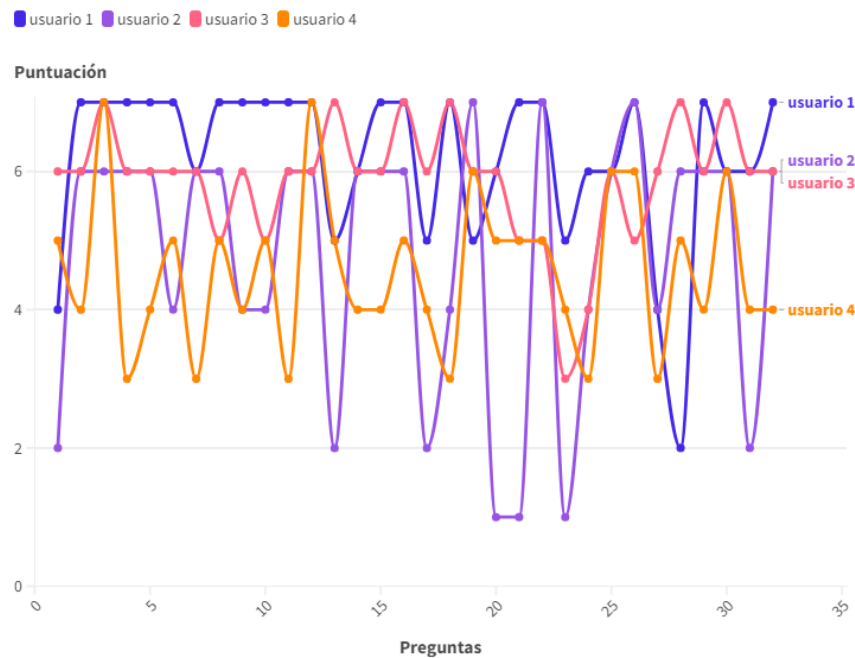


Figura 17: Gráfico de puntuación en el cuestionario de presencia en la iteración 4.

Resultados fase de testeo

7.1. Lineamientos de la fase de testeo

1. Una vez transcurrido un determinado tiempo de comenzar una tarea, se le entrega una ayuda al usuario para que la experiencia pueda continuar y la tarea o requerimiento se evalúa con puntaje 0.
2. A los 6 minutos, se vuelve a ayudar al usuario y se le recuerda que puede abandonar la experiencia si así lo desea.

7.2. Resultados iteración 1

Tabla 16: Resultados del Usuario 1.1: M.

Tarea	% de éxito	Tiempo (s)	Observaciones	Comentarios
T1.1	100	35		“me perturba que vaya lento, pero es un viejito así que está bien”
T1.2	100	4	Entiende cómo tomar y soltar los lentes.	
T1.3	100	45		
T1.4	100	41	Entiende a la perfección cómo tomar y soltar objetos.	“da miedo que tire la mano en realidad, pero entiendo que es una función”
T1.5	100	30	Maneja a la perfección cómo abrir la puerta.	
T1.6	100	28		
T1.7	100	3	Le llevó trabajo tomar el bastón y no lo usó adecuadamente.	“voy muy lento”
T1.8	100	180	Utilizó el paso de cebra para llegar al vecino.	
T1.9	50	17		“escuché bien”

Tabla 17: Resultados del Usuario 1.2: C.

Tarea	% de éxito	Tiempo (s)	Observaciones	Comentarios
T1.1	100	35	entendió a la perfección con la indicación del narrador	
T1.2	100	30		“y como podre tomarlos” “no sé cómo tomarlos”
T1.3	100	44		
T1.4	100	35		“esto de que vibre la mano” “que difícil es tener Parkinson en una mano”
T1.5	100	-	Se detectó un bug con la puerta	“¿ Ya salí?” (debido al bug, no fue necesario utilizar la puerta)
T1.6	100	31		
T1.7	50	7	Toma el bastón con éxito, pero no lo utiliza para desplazarse más rápido	“voy muy lento”
T1.8	100	120	Cruzo la calle directamente	
T1.9	75	5	El usuario supo de inmediato que hacer al acercarse al NPC, no gira la cabeza.	

Tabla 18: Resultados del Usuario 1.3: W.

Tarea	% de éxito	Tiempo (s)	Observaciones	Comentarios
T1.1	100	16	Maneja bien como tomar y soltar objetos	
T1.2	100	9		“Me marea”
T1.3	100	37		
T1.4	100	30		“a donde tengo que llevarlo”
T1.5	100	5	Abre la puerta utilizando el movimiento del personaje en lugar del sensor espacial	
T1.6	100	35		
T1.7	75	2	Logra tomar el bastón correctamente, y hace el movimiento de utilizarlo, pero no toca el piso y por ende no se impulsa	“ni siquiera estoy tocando el piso”
T1.8	100	60		
T1.9	75	15	No se logra correctamente que las personas giren la cabeza, simulando que oirán mejor	

Tabla 19: Resultados del Usuario 1.4: N.

Tarea	% de éxito	Tiempo (s)	Observaciones	Comentarios
T1.1	100	20		“wow”
T1.2	100	31	Intenta pasarse los lentes entre las manos	
T1.3	100	50		
T1.4	100	55	El usuario entiende que puede alcanzar los platos acercando los mandos (se repite bug en el lavaplatos)	
T1.5	100	3		
T1.6	100	35		
T1.7	75	7	No utiliza el bastón apropiadamente, pero intenta hacer el movimiento	
T1.8	100	70		
T1.9	75	35	El usuario supo de inmediato como interactuar con el NPC, pero no gira la cabeza para escuchar mejor	

7.3. Resultados iteración 2

Tabla 20: Resultados del Usuario 2.1: C.

Tarea	% de éxito	Tiempo (s)	Observaciones	Comentarios
T2.1	50	73	El usuario notó la ayuda de la flecha para saber a dónde dirigirse, sin embargo, necesitó ayuda para saber cómo moverse por el entorno.	“ah ya la flecha me está marcando”
T2.2	25	103	El usuario tuvo mucho trabajo para abrir la puerta, no sabía cómo tomarla correctamente, además se desorientó muchísimo con el movimiento de la cámara.	“no puedo tomar la puerta” “como me acerco a la manilla”
T2.3	100	24	El usuario supo hacia qué puerta dirigirse.	
T2.4	100	101	El usuario no tomó una ruta peatonal para llegar al destino, siguió exactamente el camino de la flecha.	“la flecha me está mandando por un lugar que no sé si puedo pasar”
T2.5	25	180	El usuario necesitó mucha ayuda para intentar llevar a cabo esta tarea.	“no puedo subir” “no me puedo agarrar de las manillas”

Tabla 21: Resultados del Usuario 2.2: M.

Tarea	% de éxito	Tiempo (s)	Observaciones	Comentarios realizados
T2.1	100	82	El usuario en un principio no vio la flecha que le ayuda hacia dónde tiene que ir.	“a la flecha me indica” “ahí voy a seguir la flecha”
T2.2	25	180	El usuario necesitó ayuda para poder abrir la puerta, no la utilizaba correctamente.	“no entiendo cómo tomarla”
T2.3	75	24	El usuario tuvo dificultades para ver la flecha, además el movimiento de rotación suele confundirlo.	“ahhh hay una flecha ahí”
T2.4	50	161	El usuario no identificó cuando llegó al paradero y necesitó ayuda para encontrarlo.	“estoy buscando el paradero”
T2.5	25	180	El usuario, al final, realizaba el movimiento correcto para intentar subir, pero necesitó demasiada ayuda para entender la tarea.	“estoy buscando las manos” “no sé cómo sujetarme de las barras”

Tabla 22: Resultados del Usuario 2.3: S.

Tarea	% de éxito	Tiempo (s)	Observaciones	Comentarios
T2.1	100	13	El usuario sabía perfectamente hacia dónde tenía que ir y se apoyaba en la flecha, pero hubo un problema de precisión.	“ahí la abrí o no”
T2.2	100	5	Hubo un bug en la aplicación, la puerta se abrió sin la necesidad de hacer el movimiento.	“ahí la abrí o no”
T2.3	100	29	El usuario supo hacia dónde tenía que ir apoyándose en la flecha, sin embargo, al momento de rotar, se desorientó.	“no cacho cómo girar” “dónde estoy”
T2.4	75	160	El usuario necesitó ayuda para encontrar la parada de autobuses.	“eso es un paradero”
T2.5	50	250	El usuario no realizaba el movimiento adecuado para subirse a la micro y no pudo lograrlo a pesar de recibir ayuda, además se detectó un bug en el juego que hacía que este colapsara.	“no cacho cómo firmarme”

Tabla 23: Resultados del Usuario 2.4: R.

Tarea	% de éxito	Tiempo (s)	Observaciones	Comentarios
T2.1	100	5	El usuario supo encontrar la cocina fácilmente.	
T2.2	100	10	El usuario pudo abrir la puerta, pero no con el mecanismo diseñado.	
T2.3	100	34	El usuario supo cómo moverse hacia donde moverse y se apoyó en la flecha.	
T2.4	75	111	El usuario pudo llegar a la zona demarcada, pero con ayuda ya que no logró identificarla.	
T2.5	50	201	El usuario no realizaba el movimiento correcto para subir al autobús, a pesar de recibir ayuda tampoco pudo lograrlo.	“no me funciona”

7.4. Resultados iteración 3

Tabla 24: Resultados del Usuario 3.1: M.

Tarea	% de éxito	Tiempo (s)	Observaciones	Comentarios
T3.1	100	105	El usuario entendió de inmediato hacia donde ir	
T3.2	100	7	El usuario supo cómo lidiar con los objetos al momento de lavarse los dientes	
T3.3	100	16	El usuario supo cómo utilizar el vaso y como botar el agua	
T3.4	100	35		
T3.5	75	61	El usuario necesito ayuda para entender cómo realizar la tarea.	
T3.6	100	4	El usuario supo cómo tomar beber de la taza de café	
T3.7	100	82	El usuario encontró rápidamente la puerta principal	
T3.8	100	50	El usuario supo cómo lidiar con la silla y la puerta	
T3.9	100	76		
T3.10	75	41	El usuario necesitó ayuda respecto a la técnica para subirse al transporte publico	
T3.11	100	38	El usuario no tuvo problemas al utilizar el transporte publico	
T3.12	100	51	El usuario interactuó correctamente con la taquilla	
T3.13	100	10	El usuario entendió como llevar sus productos en su regazo	
T3.14	100	24	El usuario encontró fácilmente la sala de cine	

Tabla 25: Resultados del Usuario 3.2: K.

Tarea	% de éxito	Tiempo (s)	Observaciones	Comentarios
T3.1	100	373	El movimiento realizado no era el correcto, además, el usuario se movió de su posición inicial, afectado la detección de los mandos en la silla	
T3.2	100	30	El usuario supo cómo tomar las cosas rápidamente.	
T3.3	100	20	El usuario supo inmediatamente como botar el agua	
T3.4	100	48	El usuario se sintió muy atraído por el marco amarillo de la puerta	“me dirigí a la zona y estaba esperando a que pase algo”
T3.5	100	135	el usuario sabía lo que tenía que hacer para poder servirse una taza de café	
T3.6	100	5	El usuario dedujo como tomarse la taza de café	
T3.7	100	148	El usuario supo hacia donde tenía que ir	“parece que estaba topando con algo”
T3.8	100	31	El usuario pudo abrir la puerta estando frente a ella	
T3.9	100	272	El usuario paso mucho tiempo pegado cuando colisionaba con un objeto	
T3.10	50	180	El usuario necesito ayuda para llevar acabo la maniobra	
T3.11	100	59		“no alcanzo el botón”
T3.12	100	37	El usuario supo perfectamente como comprar	
T3.13	100	3	El usuario realizo la acción rápidamente	
T3.14	100	74	El usuario no se perdió en ningún momento y siempre supo hacia donde ir.	

Tabla 26: Resultados del Usuario 3.3: C.

Tarea	% de éxito	Tiempo (s)	Observaciones	Comentarios
T3.1	100		El usuario llego al lugar correcto pero necesito ayuda para comenzar la tarea	
T3.2	100	5	El usuario entendió rápidamente como tomar los objetos	¿Con cuál agarro el cepillo?
T3.3	75	40	El necesito ayuda para enjuagarse los dientes, particularmente para entender que podía inclinarse para abrir la llave	No alcanzo la llave
T3.4	85	30	Se confirmo que efectivamente los usuarios se sienten atraídos por las ayudas de la aplicación tales como los limites amarillos	
T3.5	100	40	El usuario pudo servirse la taza de café con éxito	
T3.6	100	5	El usuario pudo tomarse la taza de café con éxito, sin embargo, en un momento esta se le cayó y esta no volvía a su posición original	
T3.7	100	45	El usuario se apoyó en la flecha para saber a dónde ir	
T3.8	100	68	el usuario supo cómo abrir la puerta de manera correcta	
T3.9	100	68	el usuario siguió la ruta más óptima para llegar al autobús, apoyándose en la flecha	“me cuesta doblar”
T3.10	100	20	El usuario realizo la tarea de manera excelente	
T3.11	100	46	El usuario dudo un momento de si el ascensor era ese, debido a los letreros que tiene	“cómo tiene más letreros pensé, capaz no sea ese”
T3.12	100	116	El usuario primero le daba a comprar sin seleccionar las opciones deseadas	“no sé cómo comprar entradas” “no entiendo”
T3.13	100	18	El usuario entendió perfectamente como tomar los objetos y donde ponerlos.	“desapareció”
T3.14	100	55		

Tabla 27: Resultados del Usuario 3.4: E.

Tarea	% de éxito	Tiempo (s)	Observaciones	Comentarios
T3.1	100	107		
T3.2	100	5	El usuario supo de inmediato como tomar los objetos y aplicar la pasta en el cepillo	
T3.3	100	9	El usuario lleno de agua el vaso, pero le costó distinguir cuando este ya tenía agua, además entendió rápidamente como botar el agua en el lavado	“no” en el sentido de que el vaso no se llena de agua
T3.4	100	11	El usuario le tomo mucho tiempo llegar a la cocina, colisionaba mucho	
T3.5	25	15	La dificultad del moverse en el entorno sobre silla de ruedas complico demasiado la tarea, por lo que requirió mucha ayuda, sin embargo, la parte de llenar la taza la realizo muy bien	
T3.6	-	-	-	
T3.7	-	-	-	
T3.8	-	-	-	
T3.9	-	-	-	
T3.10	-	-	-	
T3.11	-	-	-	

7.5. Resultados iteración 4

Tabla 28: Resultados del Usuario 4.1: W.

Tarea	% de éxito	Tiempo (s)	Observaciones	Comentarios
T4.1	100	141	El usuario realizó la tarea de manera continua y sin equivocaciones, además decidió respetar el semáforo implementado	
T4.2	100	15	El usuario pudo subirse al autobús en el primer intento	
T4.3	100	7	El usuario entendía hacia dónde debía dirigirse	
T4.4	100	15	El usuario supo interactuar con la pantalla touch	
T4.5	100	9	El usuario se apoyó en la flecha para localizar la zona de espera	
T4.6	100	13	El usuario supo hacia dónde tenía que ir	
T4.7	100	30	El usuario pudo entrar a la tienda y lidió correctamente con la rampa de la entrada, intentando impulsarse constantemente	
T4.8	100	214	El usuario pudo recolectar los productos solicitados e interactuó con la cajera pidiéndole la leche	
T4.9	100	36	El usuario supo cómo cancelar los productos	

Tabla 29: Resultados del Usuario 4.2: A.

Tarea	% de éxito	Tiempo (s)	Observaciones	Comentarios
T4.1	100	101	El usuario logró llegar al paradero sin problemas	
T4.2	50	191	El usuario tuvo dificultades para subirse al autobús	“no puedo avanzar”
T4.3	100	9	El usuario supo hacia dónde debía ir	
T4.4	50	140	El usuario tuvo problemas al interactuar con la pantalla touch	“ay, se presionó 2 veces porque”
T4.5	100	6	El usuario supo hacia dónde debía ir	
T4.6	100	20	El usuario logró asistir a la visita	
T4.7	100	325		
T4.8	100	192	El usuario pensó que la pantalla presentada era touch	
T4.9	100	25	El usuario supo de inmediato cómo pagar	

Tabla 30: Resultados del Usuario 4.3: J.

Tarea	% de éxito	Tiempo (s)	Observaciones	Comentarios
T4.1	100	180		
T4.2	100	138		
T4.3	100	8		
T4.4	100	18		
T4.5	100	5		
T4.6	100	38		
T4.7	0	360		
T4.8				
T4.9				

Tabla 31: Resultados del Usuario 4.4: M.

Tarea	% de éxito	Tiempo (s)	Observaciones	Comentarios
T4.1	100	121		
T4.2	100	95		
T4.3	100	9		
T4.4	100	45		
T4.5	100	10		
T4.6	100	27		
T4.7	0	360		
T4.8				
T4.9				

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [Carbajal *et al.*, 2006] Carbajal, M. O., Zárate, I. R., y Montañez, E. H. (2006). Introducción a la realidad virtual. *Polibits*, (33):11–15.
- [Cuevas y Aguayo, 2013] Cuevas, B. G. y Aguayo, L. V. (2013). Efectos secundarios tras el uso de realidad virtual inmersiva en un videojuego. *International Journal of Psychology and Psychological Therapy*, 13(2):163–178.
- [Dealessandri, 2020] Dealessandri, M. (2020). Las mejores prácticas y principios de diseño del desarrollo de realidad virtual. <https://www.gamesindustry.biz/the-best-practices-and-design-principles-of-vr-development>. Accedido: 29 de mayo de 2024.
- [Escartín, 2000] Escartín, E. R. (2000). La realidad virtual, una tecnología educativa a nuestro alcance. *Pixel-Bit. Revista de Medios y Educación*, 15, 5-21.
- [Evergine, 2023] Evergine (2023). El futuro de la realidad virtual y aumentada. Accessed: 2024-07-05.
- [García, 2015] García, I. M. (2015). Metodologías de desarrollo software.¿ tradicional o ágil? *MoleQla: revista de Ciencias de la Universidad Pablo de Olavide*, (19):7.
- [Hurtado Torres, 2022] Hurtado Torres, D. (2022). Gamificación y realidad virtual: desarrollo y aplicación de un videojuego como complemento didáctico en ciencias sociales.
- [Innguma, 2024] Innguma (2024). Realidad virtual: Aplicaciones en la vigilancia tecnológica e inteligencia competitiva. Accessed: 2024-07-05.
- [Jennett *et al.*, 2008] Jennett, C., Cox, A. L., Cairns, P., Dhoparee, S., Epps, A., Tijs, T., y Walton, A. (2008). Measuring and defining the experience of immersion in games. *International journal of human-computer studies*, 66(9):641–661.
- [Kaplan-Rakowski y Gruber, 2024] Kaplan-Rakowski, R. y Gruber, A. (2024). An experimental study on reading in high-immersion virtual reality. *British Journal of Educational Technology*, 55(2):541–559.
- [Mena *et al.*, 2022] Mena, V. M. P., Freire, E. X. G., y Manzano, J. M. B. (2022). Usabilidad del software: Una revisión sobre su evolución conceptual y parámetros de evaluación. *Publicaciones en Ciencias y Tecnología*, 16(2):121–134.
- [Moreno-López *et al.*, 2023] Moreno-López, G., Rodríguez-Correa, P. A., Fuentes, E. N. C., Bermeo-Giraldo, M. C., Valencia-Arias, A., y Gallegos, A. (2023). Gamificación en la educación superior a través de realidad virtual y aumentada: Revisión de literatura. *Revista Ibérica de Sistemas e Tecnologías de Informação*, (E59):229–244.
- [Norman y A., 2002] Norman, D. y A., D. (2002). *The Design of Everyday Things*.

- [Ordóñez-Gutiérrez, 2023] Ordóñez-Gutiérrez, G. (2023). Elementos metodológicos de thinking aloud para la obtención de evidencias de validez de contenido. *Revista Evaluar*, 23(3):45–60.
- [Slater y Wilbur, 1997] Slater, M. y Wilbur, S. (1997). A framework for immersive virtual environments (five): Speculations on the role of presence in virtual environments. *Presence: Teleoperators & Virtual Environments*, 6(6):5.
- [Witmer *et al.*, 2005] Witmer, B. G., Jerome, C. J., y Singer, M. J. (2005). The factor structure of the presence questionnaire. *Presence: Teleoperators & Virtual Environments*, 14(3):298–312.