

Pontificia Universidad Javeriana Cali
Facultad de Ingeniería y Ciencias.
Ingeniería de Sistemas y Computación.
Trabajo de grado.

Prototipo de un Sistema de Realidad Virtual Interactivo para el Relato de un Cuento Sobre los Osos de Anteojos Orientado a Niños con Diversidad Sensorial

Juan Esteban Becerra Gutiérrez
Alejandro Sarmiento Rivera
Director: Andrés Navarro Newball

Santiago de Cali
num de Noviembre de 2026



Pontificia Universidad
JAVERIANA
Cali

[VIGILADA MINEDUCACIÓN Res. 12220 de 2016]

Carta de Aprobación

Santiago de Cali, Noviembre 2025 Señores.

Pontificia Universidad Javeriana Cali.

Dr. Gerardo Mauricio Sarria, Director de Carrera
Ingeniería de Sistemas y Computación
Cali.

Cordial saludo,

Por medio de la presente me permito informarle que los estudiantes de Ingeniería de Sistemas y Computación, Juan Esteban Becerra Gutiérrez (cod: 8965694) y Alejandro Sarmiento Rivera (cod: 8968284) trabajaron bajo mi dirección en el proyecto de grado titulado “Prototipo de un Sistema de Realidad Virtual Interactivo para el Relato de un Cuento Sobre los Osos de Anteojos Orientado a Niños con Diversidad Sensorial” el cual se encuentra finalizado y listo para sustentación.

Atentamente,

Dr. Andrés Adolfo Navarro Newball

Carta de Compromiso

Santiago de Cali, Noviembre 2025

Señores.

Pontificia Universidad Javeriana Cali.

Dr. Gerardo Mauricio Sarria, Director de Carrera
Ingeniería de Sistemas y Computación
Cali.

Cordial saludo,

Nos permitimos presentar a su consideración el trabajo de grado titulado “Prototipo de un Sistema de Realidad Virtual Interactivo para el Relato de un Cuento Sobre los Osos de Anteojos Orientado a Niños con Diversidad Sensorial” con el fin de cumplir con los requisitos exigidos por la Universidad para llevar a cabo el proyecto de grado y posteriormente optar al título de Ingeniero de Sistemas y Computación.

Al firmar aquí, damos fe que entendemos y conocemos las directrices para la presentación de trabajos de grado de la Facultad de Ingeniería aprobadas el 26 de Noviembre de 2009, donde se establecen los plazos y normas para el desarrollo del anteproyecto y del trabajo de grado.

Atentamente,

Juan Esteban Becerra Gutiérrez
Código: 8965694

Alejandro Sarmiento Rivera
Código: 8968284

Resumen

Este proyecto propone el desarrollo de un prototipo de realidad virtual (RV) inmersivo para relatar el cuento “*El Oso que Perdió sus Anteojos*”, dirigido a niños de entre 5 a 12 años de edad con diversidad sensorial (visual y auditiva). La iniciativa surge en colaboración con el Instituto para Niños Ciegos y Sordos (INCS) de Cali, como parte del proyecto Colombia-Quebec, que busca explorar tecnologías inmersivas para la rehabilitación y el aprendizaje. El prototipo integrará elementos narrativos interactivos, adaptaciones sensoriales (audios, vibraciones, contrastes visuales) y dinámicas que fomenten valores como el respeto y la justicia, así como la conciencia ambiental. Mediante metodologías centradas en el usuario, se diseñará un entorno accesible evaluado con pruebas de usabilidad. Los resultados esperados incluyen un sistema funcional, documentación técnica y un repositorio de código abierto, contribuyendo a la innovación en educación inclusiva.

Palabras Clave: Realidad virtual, diversidad sensorial, narrativa interactiva, educación inclusiva, oso de anteojos.

Summary

This project proposes the development of an immersive virtual reality (VR) prototype to narrate the story “*El Oso que Perdió sus Anteojos*”, aimed at children aged 5 to 12 with sensory diversity (visual and auditory). The initiative arises in collaboration with the Institute for Blind and Deaf Children (INCS) of Cali, as part of the Colombia-Quebec project, which seeks to explore immersive technologies for rehabilitation and learning. The prototype will integrate interactive narrative elements, sensory adaptations (audios, vibrations, visual contrasts), and dynamics that promote values such as respect and justice, as well as environmental awareness. Using user-centered methodologies, an accessible environment will be designed and evaluated through usability testing. Expected outcomes include a functional system, technical documentation, and an open-source code repository, contributing to innovation in inclusive education.

Keywords: Virtual reality, sensory diversity, interactive narrative, inclusive education, spectacled bear.

Índice general

1. Introducción	10
2. Descripción del Problema	11
2.1. Planteamiento del Problema	11
2.1.1. Formulación	12
2.1.2. Sistematización	12
2.2. Objetivos	13
2.2.1. Objetivo General	13
2.2.2. Objetivos Específicos	13
2.3. Justificación	13
2.3.1. Utilidad	13
2.3.2. Impacto	14
2.3.3. Viabilidad	14
2.4. Delimitaciones y Alcances	14
3. Marco Teórico y Trabajos Relacionados	15
3.1. Marco Teórico	15
3.1.1. Realidad Virtual (RV)	15
3.1.2. Narrativa Interactiva	15
3.1.3. Body Transfer	16
3.1.4. Gamificación	16

3.1.5. Kanban	16
3.2. Trabajos Relacionados	17
3.2.1. Evaluating a virtual reality sensory room for adults with disabilities . .	17
3.2.2. Adoption of Virtual Reality Technology in Learning Elementary of Mu- sic Theory to Enhance the Learning Outcomes of Students with Disabi- lities	17
3.2.3. Realidades expandidas inteligentes para la innovación en la cultura digital	18
3.2.4. Extended Realities for Sensorially Diverse Children	18
3.3. Comparativa de proyectos previos vs. este proyecto	18
4. Metodología, Análisis y Diseño	20
4.1. Metodología Kanban	20
4.1.1. Principios de Kanban	20
4.1.2. Prácticas Centrales de Kanban	21
4.1.3. Aplicación de Kanban en Este Proyecto	21
4.2. Análisis	23
4.2.1. Tipo de Estudio	23
4.2.2. Objetivos pedagógicos	23
4.2.3. Usuarios y contexto	23
4.2.4. Plataforma y despliegue	23
4.2.5. Accesibilidad y apoyos	24
4.2.6. Riesgos y mitigaciones	24
4.2.7. Procedimiento de levantamiento	24
4.2.8. Métricas de éxito	24
4.2.9. Identificación de Actividades para el Juego	24
4.3. Definir	25
4.3.1. Requerimientos	25
4.3.2. Requisitos Funcionales (RF)	26

4.3.3. Requisitos No Funcionales (RNF)	26
4.3.4. Selección del entorno de desarrollo	26
4.4. Diseño	29
4.4.1. Mecánicas de los juegos	29
4.4.2. Narrativa	30
4.4.3. Interfaz	35
4.4.4. Diagrama de Flujo	39
4.4.5. Diagrama de casos de uso	40
4.5. Idear	41
4.5.1. Diseño del Entorno	41
4.5.2. Iteración de diseño: XR Academia y validación temprana	42
4.5.3. Optimización de terreno para requisitos de rendimiento	43
4.5.4. Diseño de zonas de acción y minijuegos	44
4.5.5. Estrategia de una única escena	48
4.5.6. Configuración del Esqueleto	48
4.5.7. Animaciones:	50
5. Implementación	55
5.1. Manejo de Escenas:	55
5.2. Menú Principal:	55
5.3. Transformación en el Oso de Anteojos:	59
5.3.1. Implementación del algoritmo:	61
5.3.2. Corrección de las Manos:	63
5.4. Manejo de las Voces:	64
5.5. Manejo de los Teletransportes:	65
5.6. Minijuegos de Preguntas:	65
5.6.1. Comida Favorita del Oso de Anteojos:	67

5.6.2. Líquido para Beber:	67
5.6.3. Reconocer los Sentimientos del Oso de Anteojos:	68
5.7. Minijuego de Conseguir las Bromelias:	69
5.8. Minijuego de Beber el Agua:	71
5.9. Minijuego de Atrapar al Pez:	73
5.10. Interacciones Extra:	75
6. Validación y Resultados	76
6.1. Plan de Pruebas	76
6.1.1. Alcance y objetivos	76
6.1.2. Aprobación ética	76
6.1.3. Procedimiento	77
6.2. Validación de Requisitos	77
6.2.1. Requisitos Funcionales	78
6.2.2. Requisitos No Funcionales	78
6.3. Ejecución de las Pruebas	79
6.4. Resultados de las Pruebas	81
6.4.1. Encuesta a profesionales	81
6.4.2. Encuesta a niñas y niños	82
6.4.3. Enlaces a formularios de encuesta	83
6.5. Análisis de resultados: Encuesta a niñas y niños	83
6.6. Análisis de resultados: Encuesta a profesionales	84
7. Conclusiones	86
8. Trabajo Futuro	88
8.1. Expansión de la Narrativa: Transformación en Pez	88
8.2. Accesibilidad Auditiva en Interacciones	88

8.3. Sistema de Registro y Métricas de Rehabilitación	88
8.4. Mejoras Técnicas: Body Transfer y Hand Tracking	89

Capítulo 1

Introducción

Colombia, como uno de los países más biodiversos del mundo, enfrenta desafíos en la conservación de especies amenazadas, como el oso de anteojos, debido al tráfico ilegal y la falta de conciencia ambiental. Esta problemática se agudiza en poblaciones con diversidad sensorial, donde las barreras de acceso a la información limitan su participación en iniciativas educativas.

En este contexto, las tecnologías de realidad virtual emergen como herramientas prometedoras para crear experiencias educativas inclusivas. Este proyecto desarrolla un prototipo de RV interactivo que adapta un cuento infantil a un entorno inmersivo, combinando narrativa, gamificación y accesibilidad (estímulos hápticos, auditivos y visuales adaptados).

Para este proyecto, en el que se utilizarán dispositivos MetaQuest 3 y metodologías ágiles, se busca no solo mejorar la comprensión del cuento, sino también medir el impacto en el aprendizaje y la retención de valores. Los resultados aportarán al proyecto Colombia-Quebec y sentarán bases para futuras aplicaciones de RV en educación especial.

Capítulo 2

Descripción del Problema

2.1. Planteamiento del Problema

Colombia es uno de los países que alberga la mayor cantidad de especies biodiversas en el mundo. Según un estudio realizado por el Sistema de Información sobre Biodiversidad de Colombia en 2022 [1], cuenta con 67.000 especies distintas, ocupando el tercer lugar entre los países con mayor biodiversidad del planeta. No obstante, el 1,9 % de las especies se encuentran dentro de las categorías de amenaza a nivel nacional. En 2015, el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible incautó 41.245 ejemplares de fauna silvestre que se iban a usar para tráfico ilegal [2], lo que demuestra el peligro y la poca conciencia que hay por parte de los ciudadanos de la vida silvestre.

Para ello, varias organizaciones han buscado realizar campañas para poder concientizar e informar a la población. Por ejemplo, la WCS lanzó la campaña ‘Hay viajes que marcan vidas’ con el objetivo de sensibilizar a las personas acerca del tráfico de animales silvestres que son transportados vía aérea, y mostrarles el impacto que tiene este delito en la biodiversidad y la vida del animal [3]. El problema radica en la dificultad de acceso que tienen las personas en poder acceder a esta clase de información. La ONU Mujeres, UNFPA y UNICEF realizó un estudio sobre la situación de las personas con discapacidad en Colombia el 2021 [4], en el que se descubrió que una de cada diez personas con discapacidad de entre 15 y 59 años no sabe leer ni escribir, una tasa equivalente a 3.3 veces si se compara con el resto de la población, lo que dificulta que puedan adquirir los conocimientos suficientes para poder generar una conciencia y sensibilidad respecto a las especies en peligro de extinción.

Es por ello que el Instituto para Niños Ciegos y Sordos (INCS) de Cali, Valle del Cauca, ha buscado ayudar a esta población desde una temprana edad en procesos de rehabilitación y aprendizaje. Uno de los principales métodos que implementan es el de usar la narrativa. La narrativa fomenta a los niños a adquirir habilidades desde la combinación y estructuración de palabras simples hasta la formulación de frases mucho más complejas [5]. El INCS ha explorado el implementar las tecnologías de Realidad Aumentada (RA) y Realidad Virtual (VR) con el objetivo de mejorar el proceso de rehabilitación del lenguaje, por lo que requieren crear nuevas experiencias de “Aprendizaje Inmersivo” que hagan uso de estas herramientas para mejorar la

sensación de presencia, atención, eficiencia en tareas, funcionamiento cognitivo y el lenguaje de los niños que cuentan con limitantes visuales y de escucha.

De esta iniciativa nace el proyecto colaborativo Colombia-Quebec junto con la Pontificia Universidad Javeriana Cali, cuyo objetivo es explorar la narrativa junto con la realidad virtual para encontrar el potencial en estas tecnologías en procesos de rehabilitación para niños con diversidad sensorial. De este proyecto, surgieron 5 cuentos o narrativas desarrolladas por profesionales del instituto. A la fecha , requieren de investigar una implementación inmersiva de estas narrativas.

Por lo tanto, este trabajo de grado busca ofrecer una versión virtual del cuento “El Oso que Perdió sus Anteojos” que sea orientada a niños de entre 5 a 12 años de edad. La idea es poder promover valores como el respeto y la justicia a manera de relato interactivo que contenga retos variados para que los niños tengan un objetivo a completar. Va a ser importante para el éxito del proyecto, considerar aspectos de accesibilidad que conviertan el cuento en una narrativa inmersiva y sensorial atractiva para el público objetivo.

2.1.1. Formulación

¿Cómo desarrollar un prototipo de sistema de realidad virtual inmersivo que sea capaz de relatar un cuento sobre un oso de anteojos de manera interactiva que fomente los valores de respeto y justicia orientado a niños de 5 a 12 años que cuenten con diversidad sensorial?

2.1.2. Sistematización

Para resolver esta pregunta, se deben tener en cuenta algunas subpreguntas:

- ¿Qué elementos son necesarios para adaptar adecuadamente la historia en un sistema de realidad virtual?
- ¿Qué características son necesarias para recrear adecuadamente el ambiente del relato?
- ¿Cuáles son las actividades más adecuadas para reflejar los valores de justicia y respeto?
- ¿Cómo diseñar e implementar las actividades para abarcar la población con diversidad sensorial?
- ¿Cómo evaluar el desempeño, funcionamiento y facilidad de uso del prototipo?

2.2. Objetivos

2.2.1. Objetivo General

Desarrollar un prototipo de sistema de realidad virtual inmersiva que relate un cuento con el objetivo de promover la cultura ambiental y valores para niños de entre 5 y 12 años con diversidad sensorial.

2.2.2. Objetivos Específicos

1. Identificar los elementos clave en el relato del oso de anteojos para adaptarlos al sistema inmersivo.
2. Reconocer las características importantes para crear un ambiente adecuado acorde a la historia.
3. Proponer actividades que fomenten los valores de justicia y respeto, al igual que promuevan la conciencia ambiental.
4. Diseñar e implementar un entorno adecuado con el objetivo de facilitar la comprensión del ambiente de los niños con diversidad sensorial.
5. Evaluar el desempeño y correcto funcionamiento del prototipo, al igual que la facilidad de uso para el público objetivo.

2.3. Justificación

2.3.1. Utilidad

El desarrollo de un Sistema de Realidad Virtual Interactivo es importante para poder otorgarles a los niños con diversidad sensorial nuevas formas de adquirir conocimiento. Por ejemplo, el empirismo definido por el filósofo John Locke, habla del conocimiento como una derivación de la experiencia sensorial y la observación del mundo, siendo la forma de obtener la información a través de los sentidos y construir su comprensión a partir de la recopilación de datos empíricos [6]. En el caso de la educación, el empirismo busca un enfoque más práctico y experimental. De esta manera, el proyecto a desarrollar permitirá a los niños explorar una forma de aprendizaje distinta, buscando la interacción constante con el entorno y aprender de las experiencias que viven en el proceso.

2.3.2. Impacto

El impacto que generará el Sistema de Realidad Virtual Inmersivo será significativo para los niños que cuentan con diversidad sensorial. La realidad virtual y la realidad aumentada están transformando la educación al ofrecer experiencias inmersivas y personalizadas que mejoran la retención y comprensión del conocimiento [7]. Su capacidad para adaptarse a diversos estilos de aprendizaje y necesidades individuales proporciona una base sólida para mejorar la calidad educativa [7]. De esta forma, el prototipo habilitará la posibilidad de explorar nuevas formas de aprendizaje, las cuales permitirán a los niños vivir experiencias que les ayuden con su proceso educativo y adaptación a su condición sensorial.

2.3.3. Viabilidad

El desarrollo de un Sistema de Realidad Virtual Interactivo es viable debido a que el objetivo del mismo es continuar con la investigación del proyecto Colombia-Quebec, el cual cuenta con la aprobación de todos los procedimientos y protocolos éticos y experimentales por parte del Comité de Ética de la Investigación del INCS del Valle del Cauca, bajo la Solicitud No. INV-2020-007, el 30 de junio de 2020. Además, el proyecto ha avanzado acorde con las resoluciones 8430 (1994) y 2378 (2008) del Ministerio de Salud y Protección Social de Colombia. Por tanto, el prototipo tiene como finalidad aportar a la solución propuesta en el proyecto Colombia-Quebec y permitir la expansión del mismo para futuras mejoras.

2.4. Delimitaciones y Alcances

- El sistema de realidad virtual mostrará una adaptación del relato del osos de anteojos.
- El grupo poblacional selecto para el desarrollo del prototipo, serán los niños del INCS de entre 5 a 12 años de edad que cuenten con diversidad sensorial y sean supervisados por profesionales del Instituto que tengan experiencia trabajando con los mismos.
- Dado que las condiciones de diversidad sensorial de los niños del INCS del Valle del Cauca son variadas y complejas, se discutirá la manera de hacer el prototipo con los profesionales del instituto, de manera que el sistema incorpore al menos dos elementos de accesibilidad. Por ejemplo, colores con contraste para visión borrosa, audios, subtítulos o vibraciones.
- Por otro lado, el prototipo proporcionará mecanismos de recopilación de datos como forma de retroalimentación a los profesionales del Instituto para medir el desempeño de los niños que vayan a hacer uso del mismo.
- El sistema se desarrollará con ayuda de los dispositivos de Realidad Virtual MetaQuest 3 disponibles en las instalaciones del INCS y en la Pontificia Universidad Javeriana Cali.
- La evaluación del desempeño y usabilidad del sistema se hará con ayuda de los profesionales de la salud y con la evaluación de opiniones del grupo poblacional que va a interactuar con el prototipo.

Capítulo 3

Marco Teórico y Trabajos Relacionados

3.1. Marco Teórico

La realidad virtual (RV) ha emergido como una herramienta revolucionaria en el ámbito educativo, ofreciendo experiencias inmersivas que transforman la manera en que los estudiantes interactúan con el conocimiento. Este avance tecnológico no solo facilita la visualización de conceptos abstractos y la realización de actividades peligrosas de manera segura, sino que también sirve como método de enseñanza para los niños y jóvenes, y hasta incluso la población con problemas de visión y/o audición reducida [8]. En este contexto, el presente proyecto se centra en el desarrollo de un prototipo de realidad virtual diseñado especialmente para niños con visión reducida, con el objetivo de contar una historia que fomente valores fundamentales como el respeto y la justicia. Para ello, dentro del marco teórico del proyecto se definen conceptos clave que conllevarán al posible desarrollo del proyecto.

3.1.1. Realidad Virtual (RV)

Según Zheng et al. [9], la realidad virtual (RV) es una interfaz avanzada entre humanos y computadoras que simula un entorno realista, permitiendo a los participantes moverse dentro del mundo virtual, observarlo desde diferentes ángulos, interactuar con él y modificarlo sin necesidad de comandos o pantallas tradicionales.

3.1.2. Narrativa Interactiva

La narrativa interactiva es una forma de contar historias en la que el lector o espectador tiene la capacidad de influir en el desarrollo y el desenlace de la historia. A través de elecciones y/o acciones, el público puede interactuar con los personajes y el mundo narrativo, ya bien sea mediante la elección de diálogos por botones, que definen las rutas de la historia o por medio de realizar ciertas acciones disponibles en el juego. Este tipo narrativa invita al usuario a ser parte del mundo narrativo incitandolo a continuar la historia como él lo deseé [10].

3.1.3. Body Transfer

El “Body Transfer” en realidad virtual (RV) se refiere a la ilusión de que el cuerpo virtual que se ve en la RV es el propio cuerpo. Este fenómeno ocurre cuando la perspectiva en primera persona y la sincronización de estímulos visuales y táctiles hacen que el cerebro del usuario asigne la propiedad del cuerpo virtual a si mismo. En el estudio por parte de M. Slater [11], se demostró que una perspectiva en primera persona de un cuerpo virtual femenino de tamaño real que parece sustituir el cuerpo de los sujetos masculinos fue suficiente para generar esta ilusión de transferencia de cuerpo.

3.1.4. Gamificación

La gamificación implica el uso de elementos de juegos en actividades no relacionadas con juegos, como el aprendizaje en el aula. Su objetivo es motivar y comprometer a los estudiantes mediante el uso de mecánicas y experiencias de diseño de juegos [12].

3.1.5. Kanban

Según la Universidad de Kanban, es un método para gestionar todo tipo de servicios profesionales, también el denominado trabajo del conocimiento [13]. Con el método Kanban, se busca visualizar el trabajo y cómo se mueve a través de un flujo de trabajo. Esto permite gestionar de manera eficiente las tareas, incluyendo la comprensión y gestión de riesgos en la entrega de servicios a los usuarios. Para poder aplicar de manera adecuada Kanban, la Universidad propone las siguientes prácticas:

1. **Visualizar:** Una buena visualización del trabajo da paso a una colaboración eficaz y una identificación de oportunidades de mejora. Además, permite absorber y procesar una gran cantidad de información en poco tiempo.
2. **Limitar el Trabajo en Curso (WIP):** Conocido como el número de elementos de trabajo en un determinado tiempo, lo que permite Kanban es limitar el WIP para equilibrar la ocupación y asegurar el correcto flujo de trabajo. Un sistema eficaz es el que se centra más en el flujo de trabajo que en mantener ocupados a los encargados del proyecto.
3. **Gestionar el Flujo:** Es importante gestionar el flujo de trabajo para poder terminar el proyecto de la forma más fluida y predecible posible manteniendo un ritmo sostenido.
4. **Hacer las políticas explícitas:** Cuando se trabaja en un proyecto con Kanban, es importante definir políticas que sean acordadas por todas las partes interesadas para permitir la auto organización. Las políticas deben ser pocas, sencillas, bien definidas, visibles, aplicables en todo momento y fácilmente modificables.
5. **Implementar ciclos de retroalimentación:** Un conjunto de ciclos de retroalimentación adecuados, mejoran las capacidades de aprendizaje del equipo y su evolución mediante experimentos gestionados.

6. **Mejorar colaborativamente, evolucionar experimentalmente:** Se diseñan experimentos en entornos donde fallar es seguro con el objetivo de que si el experimento da buenos resultados, se mantienen los cambios; si no lo es, se puede devolver fácilmente a un estado anterior.

3.2. Trabajos Relacionados

3.2.1. Evaluating a virtual reality sensory room for adults with disabilities

Caroline J. Mills et al. [14] investigaron sobre las ventajas que ofrece la Realidad Virtual para la prestación de intervenciones sensoriales y desarrollaron una experiencia de sala sensorial de Realidad Virtual Inmersiva que sirviera para personas con discapacidades. Usaron un diseño de intervención única pre-post estudiado con 31 adultos con discapacidades relacionadas con la ansiedad, la depresión y el procesamiento sensorial. Los resultados del estudio mostraron ser prometedores, con un impacto positivo en la mejora de calidad de vida de las personas con discapacidades sensoriales mencionadas anteriormente. Uno de los recursos que sirven para la realización del prototipo de Sistema Virtual, es la implementación de manipulación de objetos dentro de un entorno virtual y la generación de sonidos y vibraciones en algunos casos para acompañar la interacción. La idea es explorar la posibilidad de adaptar estos aspectos al proyecto que se va a desarrollar.

3.2.2. Adoption of Virtual Reality Technology in Learning Elementary of Music Theory to Enhance the Learning Outcomes of Students with Disabilities

W. Maqableh et al. [15] realizan un estudio en el que exploran la posibilidad de usar la Realidad Virtual en la educación musical. Para llevarlo a cabo, desarrollan un entorno interactivo de aprendizaje virtual que permitiera a los estudiantes aprender sobre los principios de la teoría musical, con la participación de 20 estudiantes, incluyendo los que cuentan con alguna discapacidad motora. El estudio mostró una efectividad notoria en el aprendizaje sobre la música a los estudiantes y un alto grado de aceptación en el uso de estas herramientas para este fin, siendo el de los estudiantes que cuentan con alguna discapacidad motora el que mayor interés tuvo en el mismo. Si bien el objetivo de este proyecto es algo alejado al prototipo que se desea desarrollar, tiene unas bases importantes para observar cómo la música puede ayudar a motivar al usuario y a mejorar la retención de la información dentro de un entorno virtual.

3.2.3. Realidades expandidas inteligentes para la innovación en la cultura digital

En 2023, se ha llevado a cabo un proyecto innovador dirigido por Andrés Navarro Newball [6] que explora la aplicación de tecnologías de realidades expandidas en el ámbito de la cultura digital y su influencia en la educación y la apreciación del patrimonio. La investigación incluyó la revisión de diversas aplicaciones tecnológicas, destacando cómo estas pueden enriquecer el aprendizaje y la interacción con el patrimonio cultural, promoviendo una comprensión más profunda y accesible para las nuevas generaciones. De este proyecto, se pueden sacar ejemplos de cómo se usa la Inteligencia Artificial en avatares digitales que sean capaces de interactuar y reaccionar de manera distinta dependiendo de las acciones que haga el usuario; importante para poder explorar las opciones de guías virtuales en el proyecto.

3.2.4. Extended Realities for Sensorially Diverse Children

El desarrollo del proyecto se centra en la creación de experiencias de realidad extendida (XR) que fomenten el desarrollo cognitivo, funcional y sensorial en niños con diversidad sensorial. De acuerdo con Restrepo et al. [5], se establece la importancia de diseñar aplicaciones interactivas que consideren el uso de diferentes modalidades sensoriales , incluyendo estímulos hápticos, táctiles y olfativos, para mejorar la experiencia de aprendizaje. El Instituto para Niños Ciegos y Sordos del Valle del Cauca (INCS) implementa métodos de narración para facilitar habilidades lingüísticas y detectar dificultades de aprendizaje. A través de un proceso colaborativo e interdisciplinario, se desarrollaron varias aplicaciones XR utilizando herramientas como Unity y Vuforia, permitiendo la integración de marcadores que activan contenidos digitales expandidos. Los resultados preliminares sugieren que las experiencias multimodales mejoran la motivación y la participación de los niños en el aprendizaje. Además, se consideran las implicaciones éticas y sociales necesarias para garantizar accesibilidad y seguridad en el uso de estas tecnologías. Este proyecto tiene una finalidad muy parecida al prototipo de Realidad Virtual a desarrollar, por lo que sirve como base para analizar el uso de estímulos hápticos, táctiles y olfativos que refuerzan el aprendizaje de los niños y su atención en el entorno en el que van a interactuar. También, plantean un motor gráfico de desarrollo que puede ser usado para la creación del prototipo.

3.3. Comparativa de proyectos previos vs. este proyecto

Diversos proyectos anteriores han abordado la aplicación de realidades virtuales y expandidas en personas con diversidad sensorial. Iniciativas como el entorno sensorial de Mills et al. (2023) se enfocaron en intervención sensorial para adultos con discapacidad, priorizando la mejora del bienestar, pero sin énfasis narrativo ni educativo infantil. Otros, como el estudio de Maqableh et al. [16], usaron VR para fomentar el aprendizaje musical en estudiantes con discapacidad, mostrando motivación y retención, pero dentro de un dominio académico específico y sin priorizar retos de accesibilidad audiovisual. Propuestas como las de Navarro [6] avanzaron en el uso de inteligencia artificial y avatares digitales, sin centrarse en inclusión sensorial

profunda. Por su parte, Restrepo et al. [5] demostraron la viabilidad de entornos XR para niños, fomentando la accesibilidad mediante estímulos hápticos y colaboraciones interdisciplinarias, aunque con menor integración de relato interactivo y valores sociales.

La principal mejora del proyecto actual frente al estado del arte radica en combinar técnicas de accesibilidad sensorial avanzada con una narrativa lúdica e interactiva pensada para población infantil, codiseñada con entidades especializadas y validada mediante pruebas directas con usuarios finales. Además, destaca por integrar valores como el respeto, la justicia y la conciencia ambiental en la experiencia, incorporar validación de usabilidad, facilitar la replicabilidad como recurso de código abierto y estructurar metodologías de evaluación robustas que permiten su expansión futura como referente en educación inclusiva y tecnologías inmersivas adaptativas.

Capítulo 4

Metodología, Análisis y Diseño

4.1. Metodología Kanban

La metodología Kanban es un enfoque ágil de gestión de proyectos originado en la manufactura esbelta (lean manufacturing) que se ha extendido con éxito al desarrollo de software y otros ámbitos del trabajo del conocimiento [17]. Su nombre proviene del japonés y significa “tarjeta visual”, haciendo referencia a la representación visual del trabajo y el flujo de procesos.

Según Kirovska y Koceski [17], Kanban es principalmente un concepto de manufactura esbelta cuya aplicación en otras áreas está creciendo continuamente debido a su probada efectividad. En el contexto del desarrollo de software, identificaron mediante una revisión sistemática de la literatura que los principales beneficios reportados del método Kanban incluyen la mejora del tiempo de entrega del software, la mejora de la calidad del software, la comunicación y coordinación mejoradas, la consistencia en la entrega y la disminución de defectos reportados por los clientes.

4.1.1. Principios de Kanban

Kanban se fundamenta en cuatro principios básicos que guían su implementación y uso [18]:

1. **Comenzar con lo que se hace ahora:** Kanban reconoce el valor de los procesos y prácticas existentes. En lugar de introducir cambios radicales, se construye sobre el proceso actual identificando áreas de mejora específicas.
2. **Acordar perseguir cambios incrementales y evolutivos:** Este principio está alineado con metodologías ágiles y reconoce que los grandes cambios son difíciles de implementar y tienden a generar resistencia. Kanban promueve la mejora continua mediante pequeños cambios manejables.

3. **Respetar el proceso actual, roles, responsabilidades y títulos:** Kanban busca minimizar la resistencia al cambio respetando la estructura organizacional existente y construyendo sobre ella.
4. **Fomentar el liderazgo en todos los niveles:** El método promueve que las mejoras y observaciones provengan de todos los miembros del equipo, no solo de la gerencia, fomentando una cultura de mejora continua (Kaizen).

4.1.2. Prácticas Centrales de Kanban

Además de los principios fundamentales, Kanban se implementa mediante seis prácticas centrales [18]:

1. **Visualizar el trabajo:** La visualización del flujo de trabajo mediante tableros Kanban permite a todos los miembros del equipo comprender rápidamente qué está en progreso, qué está completado y qué está pendiente. Esta transparencia facilita la identificación de cuellos de botella y áreas congestionadas.
2. **Limitar el trabajo en progreso (WIP):** Establecer límites en la cantidad de elementos de trabajo que pueden estar activos simultáneamente en cada etapa del proceso ayuda a equilibrar la carga de trabajo y asegurar un flujo constante. Un sistema efectivo se centra más en el flujo de trabajo que en mantener ocupados a los miembros del equipo.
3. **Gestionar el flujo:** Es fundamental gestionar el flujo de trabajo para completar el proyecto de la forma más fluida y predecible posible, manteniendo un ritmo sostenible y monitoreando métricas como el tiempo de ciclo y el tiempo de entrega.
4. **Hacer las políticas explícitas:** Las políticas de trabajo deben ser acordadas por todas las partes interesadas y deben ser pocas, sencillas, bien definidas, visibles, aplicables en todo momento y fácilmente modificables.
5. **Implementar ciclos de retroalimentación:** Un conjunto adecuado de ciclos de retroalimentación mejora las capacidades de aprendizaje del equipo y su evolución mediante experimentos gestionados. Esto incluye reuniones regulares de revisión y retrospectiva.
6. **Mejorar colaborativamente, evolucionar experimentalmente:** Se diseñan experimentos en entornos seguros donde fallar no tiene consecuencias graves. Si el experimento da buenos resultados, se mantienen los cambios; si no, se puede revertir fácilmente al estado anterior.

4.1.3. Aplicación de Kanban en Este Proyecto

Para el desarrollo del prototipo de realidad virtual, la metodología Kanban resulta especialmente adecuada por las siguientes razones:

- **Adaptabilidad continua:** Dado que el proyecto requiere iteraciones constantes basadas en la retroalimentación de profesionales del INCS y pruebas con niños con diversidad sensorial, Kanban permite ajustar prioridades y realizar cambios incrementales sin disruptores mayores.
- **Visualización del progreso:** El tablero Kanban permitirá llevar un seguimiento ordenado de las tareas pendientes, en desarrollo y terminadas, facilitando la comunicación entre los desarrolladores, el director del proyecto y los profesionales del instituto.
- **Gestión de prioridades:** La capacidad de reorganizar elementos en el tablero según su prioridad es fundamental para un proyecto donde los aspectos de accesibilidad pueden requerir ajustes críticos basados en pruebas de usabilidad.
- **Entrega continua:** El modelo de entrega continua de Kanban asegura que el prototipo adquiera funcionalidades progresivamente, permitiendo evaluaciones tempranas y frecuentes con el público objetivo.
- **Métricas y mejora continua:** Las métricas de Kanban como el tiempo de ciclo y el tiempo de entrega permitirán evaluar la efectividad del proceso de desarrollo y realizar ajustes para optimizar el flujo de trabajo.

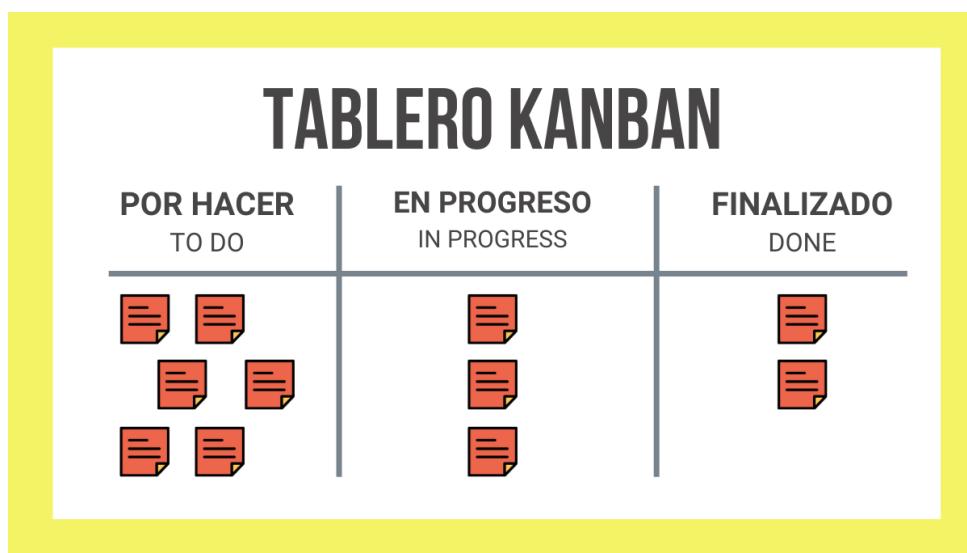


Figura 4.1: Tablero Kanban típico mostrando las columnas de flujo de trabajo (To Do, In Progress, Done) y la visualización de tareas mediante tarjetas.

Como se muestra en la Figura 4.1, un tablero Kanban típico organiza el trabajo en columnas que representan diferentes etapas del proceso, permitiendo visualizar el flujo de tareas y detectar cuellos de botella de manera inmediata.

La idea del Sistema de Realidad Virtual es que sea un producto adaptado de tal forma que sea cómodo para múltiples condiciones sensoriales. Es por ello que usar una metodología Kanban es factible para el desarrollo del proyecto. Como la idea es que el prototipo sea accesible, Kanban permitirá iterar y realizar ajustes constantemente dependiendo del feedback que otorgue el público objetivo. Por otro lado, usar un tablero Kanban permitirá llevar un seguimiento ordenado de las tareas que se encuentren pendientes, en desarrollo y terminadas. También,

permite hacer pruebas frecuentes con niños y priorizar los ajustes que sean críticos dependiendo de la retroalimentación obtenida. Por último, Kanban busca seguir un modelo de entrega continua, por lo que se asegura que el proyecto adquiera mayores funcionalidades a medida que se avanza en el mismo [14]

4.2. Análisis

Esta sección detalla el análisis realizado para definir los requisitos, objetivos pedagógicos, usuarios, contexto, plataforma, accesibilidad, riesgos, procedimiento de levantamiento y métricas de éxito del prototipo de realidad virtual.

4.2.1. Tipo de Estudio

El estudio será de carácter experimental, puesto que la idea del desarrollo del prototipo es poder explorar la Realidad Virtual en el ámbito del aprendizaje para una población que cuenta con condiciones sensoriales especiales. Requerirá de una investigación y acompañamiento continuo de profesionales para poder llegar a un producto que muestre una buena adaptación del entorno virtual a los objetivos planteados.

4.2.2. Objetivos pedagógicos

El prototipo busca contar de forma interactiva la historia del oso de anteojos para que el niño aprenda y refuerce valores como la justicia, el respeto y la empatía, integrando la narrativa con actividades que promuevan comprensión del relato y toma de decisiones dentro del entorno inmersivo.

4.2.3. Usuarios y contexto

La audiencia objetivo son niñas y niños del INCS entre 5 y 12 años con diversas condiciones sensoriales (visuales y/o auditivas), con poca o nula experiencia previa en realidad virtual, en entornos supervisados por profesionales del instituto para garantizar acompañamiento y seguridad durante la interacción.

4.2.4. Plataforma y despliegue

La primera versión se desarrollará para Meta Quest 3 en modo autónomo, con el objetivo estratégico de portar la experiencia a otros visores de la familia Meta Quest, manteniendo equivalencia funcional y de accesibilidad entre dispositivos para asegurar continuidad pedagógica.

4.2.5. Accesibilidad y apoyos

Se incorporan medidas de accesibilidad obligatorias: opciones de alto contraste, subtítulos permanentes, audio descriptivo, guía por voz, guía corriente y contenido audiovisual de apoyo antes y durante las actividades, a fin de reducir barreras de entrada y sostener la progresión dentro de la historia.

4.2.6. Riesgos y mitigaciones

Se reconocen riesgos de fatiga ocular y *motion sickness*; para mitigarlos se aplicarán técnicas de túnel (vignette) en locomoción, desplazamiento por teletransportación en lugar de joystick continuo y sesiones breves con pausas programadas, manteniendo supervisión profesional y criterios de detención segura.

4.2.7. Procedimiento de levantamiento

El análisis incluyó visitas al instituto para observar espacios y dinámica de interacción de los niños, entrevistas con profesionales para derivar requisitos, resolver dudas y co-idear adaptaciones, y revisión de literatura relacionada con el proyecto Colombia–Quebec para alinear metas, ética y alcance.

4.2.8. Métricas de éxito

Los indicadores principales de logro serán: completar el/los minijuegos previstos, número de errores por actividad, comprensión del relato medida con preguntas sencillas y el tiempo total requerido para completar la experiencia, como base para iteración y mejora.

4.2.9. Identificación de Actividades para el Juego

Durante las reuniones con los profesionales del INCS, se encontró la necesidad de generar actividades lúdicas que se alineen con la continuidad de la historia y los objetivos pedagógicos, de tal forma que sean adecuados para la población objetivo. Estas actividades deben considerar los elementos más resaltantes de la narrativa, promover la participación activa de los niños en el entorno virtual y reforzar aspectos como:

- 1. Comprensión de la historia:** Las actividades deben ayudar a los niños a entender y recordar los eventos clave del relato del oso de anteojos.
- 2. Reconocimiento de valores:** Las actividades deben fomentar la reflexión sobre los valores de justicia, respeto y empatía presentados en la historia.

3. **Interacción con el entorno:** Las actividades deben ser interactivas y aprovechar las capacidades inmersivas de la realidad virtual para mantener el interés y la atención de los niños.
4. **Accesibilidad:** Las actividades deben ser diseñadas teniendo en cuenta las diversas condiciones sensoriales de los niños, asegurando que todos puedan participar plenamente.
5. **Reconocimiento de fauna y flora colombiana:** Las actividades deben incluir elementos que permitan a los niños identificar y aprender sobre la biodiversidad única de Colombia.
6. **Memoria y lógica:** Las actividades deben desafiar a los niños a utilizar sus habilidades cognitivas para resolver problemas y recordar detalles de la historia.
7. **Coordinación motriz:** Las actividades deben involucrar movimientos físicos que ayuden a mejorar la coordinación y la motricidad fina y gruesa de los niños.
8. **Reconocimiento de emociones:** Las actividades deben ayudar a los niños a identificar y comprender las emociones de los personajes de la historia.

Por tanto, se propuso diseñar minijuegos que integren estos aspectos. Tales como:

- **Preguntas de selección múltiple:** Preguntas que los niños deben responder basándose en sucesos ocurridos en la historia y en su propia capacidad de observación.
- **Juego de Escalado:** Un minijuego donde los niños deben ayudar al oso de anteojos a escalar árboles, promoviendo la coordinación motriz y el reconocimiento de la fauna y flora colombiana.
- **Juegos de Interacción con el Entorno:** Un minijuego que requiere que los niños interactúen con diferentes elementos del entorno virtual para avanzar en la historia, reforzando la comprensión del relato y la interacción con el entorno.
- **Juego de Captura:** Un minijuego donde los niños deben capturar a un animal, de tal forma que promueva la justicia y el respeto (específicamente, hacia el bien ajeno).

4.3. Definir

4.3.1. Requerimientos

A partir del análisis de usuarios, contexto y objetivos pedagógicos, se consolidó un conjunto de requisitos funcionales y no funcionales que garantizan accesibilidad, rendimiento y trazabilidad de la experiencia, sirviendo como base para diseño, implementación y validación con profesionales del INCS.

4.3.2. Requisitos Funcionales (RF)

- RF-01: El sistema mostrará un menú de inicio en VR con opciones de Iniciar Juego y Opciones.
- RF-02: El sistema debe permitirle al jugador elegir entre dos niveles de dificultad: novato y experto.
- RF-03: El sistema debe mostrar la historia mediante audio y subtítulos legibles, grandes y sencillos.
- RF-04: El sistema debe mostrar preguntas contextuales sencillas en cuadros de texto grandes con imágenes simples antes de los minijuegos.
- RF-05: El sistema debe mostrar una guía audiovisual de cómo se debe desarrollar cada minijuego.

4.3.3. Requisitos No Funcionales (RNF)

- RNF-01: Las texturas y colores deben ofrecer contrastes aptos para usuarios con dificultades visuales.
- RNF-02: El sistema debe ejecutarse a ≥ 30 FPS en el dispositivo objetivo.
- RNF-03 Deben usarse indicadores y guías claras y visibles en objetivos y zonas.
- RNF-04: Debe haber colisiones invisibles que impidan avanzar a zonas no permitidas.
- RNF-05: Compatibilidad con gafas Meta Quest 3.
- RNF-06: Arquitectura modular para facilitar mantenimiento y evolución.

4.3.4. Selección del entorno de desarrollo

La elección del entorno de desarrollo es crucial para garantizar la viabilidad técnica y la accesibilidad del prototipo. Se evaluaron diversas opciones considerando su madurez, facilidad de uso, mantenimiento, portabilidad y capacidad para integrar las características necesarias para el proyecto.

Criterios de selección

Se priorizaron los siguientes criterios en la selección de tecnologías:

- **Fiabilidad:** se priorizó una pila madura, con soporte activo, documentación amplia y casos de uso consolidados en XR educativa y prototipado rápido, reduciendo riesgos técnicos en un entorno con sesiones cortas y supervisadas en el INCS.

- **Facilidad de manipulación:** se favorecieron herramientas con flujos de trabajo visuales, depuración sencilla en dispositivo y perfiles de entrada accesibles (voz, subtítulos, vibración, alto contraste) para iterar con terapeutas y población infantil.
- **Mantenimiento:** se buscó modularidad por escenas/paquetes, configuración por ScriptableObjects, y separación de lógica, datos y presentación para facilitar cambios en narrativa, actividades y accesibilidad sin refactorizaciones costosas.
- **Portabilidad:** se eligieron APIs estándar XR y paquetes oficiales para minimizar acomplamientos específicos, apuntando a portabilidad intra-ecosistema Meta (Quest 2/3/Pro) y reduciendo retrabajo en perfiles de rendimiento.

Motor de desarrollo: Unity

Unity ofrece un ecosistema consolidado para XR con pipeline de render flexible, perfiles de calidad por dispositivo y perfiles de entrada configurables, lo que acelera prototipado y pruebas con usuarios en contextos educativos.

Se recomienda emplear los siguientes paquetes y librerías:

- **XR Plugin Management y OpenXR de Unity:** proporcionan estandarización en interacción y evitan SDKs propietarios que limiten la portabilidad.
- **XR Interaction Toolkit:** facilita interacciones de mano/controlador, locomoción por teleteletransporte y otras mecánicas de entrada accesibles.
- **TextMesh Pro:** para tipografía de alto contraste y gran tamaño.
- **Paquetes de Accessibility/Locale:** para subtítulos y guía en voz.
- **Input System:** para mapear esquemas accesibles y alternativos, manteniendo la base en APIs soportadas por el runtime XR.

La división por escenas (portada, tutorial, minijuegos, cierre), prefabs reutilizables y configuración de actividades por datos permite que terapeutas sugieran ajustes sobre parámetros sin modificar código central, facilitando iteraciones de diseño inclusivo.

Hardware base: Meta Quest 3

Accesibilidad al desarrollo: La línea Quest permite despliegue autónomo (standalone) con instalación directa del paquete y herramientas de depuración sobre Wi-Fi/USB, lo que simplifica ciclos de prueba en el INCS sin infraestructura adicional de PC VR.

Capacidades de hardware: Al combinar capacidad de cómputo móvil, seguimiento integrado y controladores hapticos, Quest 3 soporta experiencias inmersivas con audio espacial y retroalimentación vibratoria, adecuadas para actividades guiadas y narrativa con accesibilidad perceptual.

Comodidad y sesiones: El formato standalone reduce cableado y distracciones, facilitando sesiones cortas con pausas programadas, integrando técnicas de locomoción segura (teletransporte) y viñeteado para mitigación de mareo.

Facilidad de manipulación

Software: El ciclo editar-probar-medir es ágil con perfiles de calidad, capturas de rendimiento y logs de eventos (intentos, tiempos, aciertos/errores), lo que facilita observar impacto de cambios en accesibilidad y narrativa por iteración.

Hardware: La instalación directa en Quest 2/3 habilita pruebas de campo y observación no intrusiva, incluso sin proyección espejo, siguiendo el avance por señales auditivas cuando sea necesario, en línea con el protocolo aplicado en las visitas al INCS.

Mantenibilidad

Arquitectura modular: La separación de lógica de juego, controladores de accesibilidad (contraste, subtítulos, audio descriptivo), y datos de actividades permite integrar nuevas escenas/retos sin afectar el núcleo, conservando la trazabilidad con requisitos y criterios de aceptación.

Instrumentación ligera: Los registros de eventos y métricas de rendimiento se mantienen desacoplados de la lógica de escena, facilitando análisis posterior y resguardo de privacidad / consentimiento según lineamientos éticos reportados.

Portabilidad dentro de Meta Quest

Aunque el desarrollo se centra en Meta Quest 3, el objetivo es que la aplicación sea portable al menos al resto de la serie Meta Quest (p. ej., Quest 2), ajustando perfiles de calidad, texturas y presupuesto de geometría para mantener accesibilidad y rendimiento.

Al basarse en OpenXR, XR Interaction Toolkit y paquetes oficiales, la dependencia de SDKs específicos se reduce, y el esfuerzo de portabilidad se enfoca en tuning de rendimiento, escalado de UI accesible y validación de interacciones en cada dispositivo objetivo.

Este conjunto de decisiones equilibra fiabilidad y velocidad de iteración con requisitos de accesibilidad, mantenimiento y validación en campo, conservando la posibilidad de ampliar la cobertura a más dispositivos dentro del ecosistema Meta sin comprometer la experiencia educativa ni la calidad técnica del prototipo.

4.4. Diseño

El siguiente apartado detalla las decisiones de diseño tomadas para cumplir con los requisitos funcionales y no funcionales establecidos en la fase anterior, enfocándose en aspectos clave como la narrativa, mecánicas de juego, accesibilidad y mitigación de riesgos.

4.4.1. Mecánicas de los juegos

Teniendo en cuenta el enfoque para las actividades propuesto en 4.2.9, se optó por diseñar una serie de minijuegos que fueran fieles a la linealidad de la narrativa y representaran un reto para los niños, de tal forma que se mantuviera su interés y motivación a lo largo de la experiencia y a su vez se reforzaran los objetivos pedagógicos planteados. Cada minijuego se diseñó para ser intuitivo y accesible, con controles simples y una guía tanto visual como auditiva para facilitar la comprensión y participación de los niños. Los minijuegos realizados fueron los siguientes:

1. **Comida Favorita del Oso:** Consiste en una pregunta de selección múltiple en la que se le presenta al niño tres opciones de comidas favoritas distintas, pero solo una es la correcta. El oso menciona su comida favorita desde el inicio de la historia, por lo que el niño debe recordar esta información para responder correctamente.
2. **Conseguir las Bromelias:** Ahora el niño deberá de escalar un árbol que contiene bromelias para poder alimentar al oso de anteojos. El niño debe usar las manos para agarrar las bromelias y poder comérselas.
3. **Líquido para Beber:** Consiste en una pregunta de selección múltiple en la que se le presenta al niño tres opciones de líquidos para saciar la sed del oso. El niño deberá reconocer intuitivamente el líquido perfecto para poder ayudar al oso (en este caso, el agua).
4. **Beber el Agua:** El niño deberá de ayudar al oso a beber agua de un lago. Para esto, el niño debe usar sus manos para llenar un vaso con agua y luego llevarlo a la boca del oso para que pueda beber.
5. **Reconocer los Sentimientos del Oso:** Consiste en una pregunta de selección múltiple en la que se le presenta al niño tres opciones de sentimientos distintos. El niño deberá reconocer el sentimiento del oso basándose en las pistas contextuales proporcionadas durante la narrativa.
6. **Atrapar al pez:** El niño deberá ayudar al oso a atrapar un pez en un lago, el cual se llevó las gafas del oso. Para esto, el niño debe usar sus manos para tratar de atrapar al

pez mientras este trata de huir de él. Con esto se busca trabajar la motricidad fina, la coordinación ojo-mano y enfatizar los valores de justicia y respeto.

Los detalles sobre la implementación de cada uno de estos minijuegos se encuentran en la sección 5 correspondiente a la implementación del prototipo.

4.4.2. Narrativa

La narrativa del prototipo sigue el relato del "Oso que Perdió sus Anteojos", una historia diseñada por los profesionales del INCS en colaboración con el proyecto Colombia-Quebec. La historia trata sobre un oso de anteojos que buscaba un lago para poder tomar agua, pero pierde sus gafas cuando se agacha a beber, a lo que un pez llega y se lleva las gafas del oso. El oso se pone triste, a lo que el pez se siente culpable y decide devolverle las gafas al oso (Ver Figura 4.2).

Ambientación: sonido del páramo

Narrador: caminando de un lado al otro en el páramo, se encuentra un oso grande, que gruñe fuerte. Tiene pelo blanco alrededor de sus ojos de forma particular, por eso es llamado oso de anteojos.

Gruñido del oso

Oso: —Llevo caminando todo el día y ahora tengo mucha sed.

Narrador: dijo el oso de anteojos acercándose a un lago para beber.

Sonido de agua corriendo

En el lago vio su reflejo, pero ocurrió algo que nadie esperaba: sus anteojos cayeron al agua y los arrastró la corriente. Splash

Oso: ——Y ahora ¿cómo haré para ver bien?

Narrador: Exclamó el oso y detrás de sus anteojos salió a correr.

Entonces los anteojos se detuvieron junto a una roca y el oso pensó que allí terminaría su historia.

Con lo que no contaba era que un pez travieso se llevaría sus anteojos en la boca.

Con lágrimas en los ojos, en la orilla del lago se sentó el oso de anteojos.

Pez —No te pongas triste, osito

Pensé que todo era un juego. Toma, aquí están tus anteojos. No los pierdas de nuevo.

Narrador: Y Fue así como el oso sus anteojos no volvió a perder. Y, además, en grandes amigos se convirtieron el oso y el pez.

Figura 4.2: Imagen ilustrativa del cuento "El Oso que Perdió sus Anteojos" proporcionada por el INCS.

No obstante, para poder adaptar la narrativa al entorno de realidad virtual y a los objetivos pedagógicos planteados, se vio necesario realizar algunas modificaciones en la historia original. Con ayuda de los profesionales del INCS, la historia fue adaptada para incluir nuevos elementos que permitieran realizar los minijuegos propuestos. Por ejemplo, se añadió la necesidad del oso de alimentarse con bromelias y tener que atrapar al pez, lo que permitió incluir minijuegos relacionados con estas actividades. De esta manera, el relato del "Oso que Perdió sus Anteojos" quedó de la siguiente manera:

Historia del Oso y sus Anteojos

Narrador: Esta es la historia del oso que perdió sus anteojos.

Oso: ¡Hola, amigo! ¿Cómo estás? ¡Espero que muy bien! (rugido de tripas) Tengo muuuucha hambre, ¿me ayudas a encontrar comida? Me gustan mucho las bromelias

El oso extiende su pata, se le avisa al jugador por texto, audio y video que toque la pata del oso. El jugador toca la pata y se convierte en el oso. Se teletransporta a la zona 1.

Primera elección: ¿Qué come el oso?

Narrador: El señor oso tiene mucha hambre, ¿cuál es la comida favorita del oso?

- Manzana, acompañado de una imagen del objeto y el audio del objeto hablado.
- Bromelia, acompañado de una imagen del objeto y el audio del objeto hablado.
- Zanahoria, acompañado de una imagen del objeto y el audio del objeto hablado.

Si se selecciona mal, la opción se oscurece y muestra una “X” roja, deshabilitándose acompañado de un sonido de error.

Diálogos aleatorios al fallar:

Narrador: Mmm nooo, creo que al oso no le gusta eso.

Narrador: ¡Estuviste cerca!, pero el oso no quiere eso.

Narrador: Noo, no es correcto, ¡inténtalo nuevamente!

Si se selecciona bien, se reproduce un sonido de acierto acompañado de un chulo verde al cuadro de selección.

Oso: ¡Muy bien! ¡Ese árbol de ahí tiene bromelias! ¿Me ayudarías a conseguir las bromelias?

Minijuego: Escalar

Comienza un minijuego de escalar: Se da un tutorial vía texto, audio y video incluido para el desarrollo del juego. Termina el minijuego.

Oso: Mmm qué rico, ¡muchas gracias! (jadeante) Ahora tengo sed.

Segunda elección: ¿Qué puede tomar el oso?

Narrador: El oso tiene sed, ¿qué puede tomar el oso para calmar su sed?

- Agua, acompañado de una imagen del objeto y el audio del objeto hablado.
- Café, acompañado de una imagen del objeto y el audio del objeto hablado.
- Jugo, acompañado de una imagen del objeto y el audio del objeto hablado.

Si se selecciona mal, la opción se oscurece y muestra una “X” roja, deshabilitándose acompañado de un sonido de error.

Diálogos aleatorios al fallar:

Narrador: Nooo, el oso no puede tomar eso.

Narrador: Mmm, creo que no es correcto.

Narrador: Noo, no es correcto, ¡inténtalo nuevamente!

Si se selecciona bien, se reproduce un sonido de acierto acompañado de un chulo verde al cuadro de selección, y se teletransporta la zona cerca al lago.

Narrador: ¡Mira! ¡Un vaso para tomar agua! ¿Ayudas al oso a tomar agua?

Empieza el minijuego de tomar agua, el niño debe introducir el vaso al lago, y luego hacer el gesto de tomar agua (3 veces en fácil y 5 veces en difícil) hasta que se llene una barra. Una vez terminado del minijuego, se muestran las gafas del oso en frente del jugador para posteriormente caer al lago.

Oso: ¡Oh no! Mis gafas (en tono triste y llorando)

Tercera elección: ¿Cómo se siente el oso?

Narrador: ¡Oh no! El oso está llorando mucho, ¿cómo crees que se siente el oso?

- Enojado, acompañado de una imagen representando la emoción y el audio de la emoción hablada.
- Alegre, acompañado de una imagen representando la emoción y el audio de la emoción hablada.
- Triste, acompañado de una imagen representando la emoción y el audio de la emoción hablada.

Si se selecciona mal, la opción se encierra desapareciendo, deshabilitándose acompañado de un sonido de error.

Diálogos aleatorios al fallar:

Narrador: ¡Nooo! El oso no se siente así.

Narrador: ¡Casi aciertas! Pero no se siente así.

Narrador: Noo, no es correcto, ¡inténtalo nuevamente!

Aparece un pez y agarra las gafas.

Pez: Me gustan estas gafas, ¡ahora son mías! (Tono malicioso)

Oso: ¡Noo, son mías! (molesto)

Comienza el minijuego: el niño deberá atrapar al pez (dependiendo de la dificultad, el pez es más rápido o lento). El niño logra atrapar al pez.

Pez: Vale, perdón perdón, tranquilo, es broma. Suéltame por favor.

El jugador suelta al pez.

Pez: Toma

El pez intenta darle las gafas al oso, pero se le caen al agua hacia el río.

Pez: ¡Oh no! ¡Lo siento!

Oso: Yo quiero mis gafas, ¿me ayudas?

Pez: Sí, yo te ayudo, confía en mí

El pez se sumerge para recuperar las gafas. El pez emerge a la superficie con las gafas.

Oso: ¡Mis gafas! ¡Gracias por recuperarlas amigo!

El jugador agarra las gafas y se las pone. El jugador vuelve a transformarse en humano.

Oso: ¡Gracias, compañero! ¡Choquen esos 5!

Chocan los 5 y se termina el juego.

4.4.3. Interfaz

Con el objetivo de cumplir con los requisitos RF-01, RF-02 y RF-04 presentados en 4.3.2, se propuso desarrollar una interfaz que priorizara el simplismo y la claridad visual, utilizando elementos de alto contraste y tipografía grande para facilitar la lectura y comprensión por parte de los niños. La interfaz se diseñó para ser intuitiva, con iconografía clara y botones grandes que faciliten la interacción en un entorno de realidad virtual. La idea inicial del diseño de la interfaz se encuentra en las Figuras 4.3, 4.4, 4.5, 4.6, 4.7, 4.8 y 4.9.



Figura 4.3: Imagen ilustrativa del diseño inicial del menú principal del prototipo.

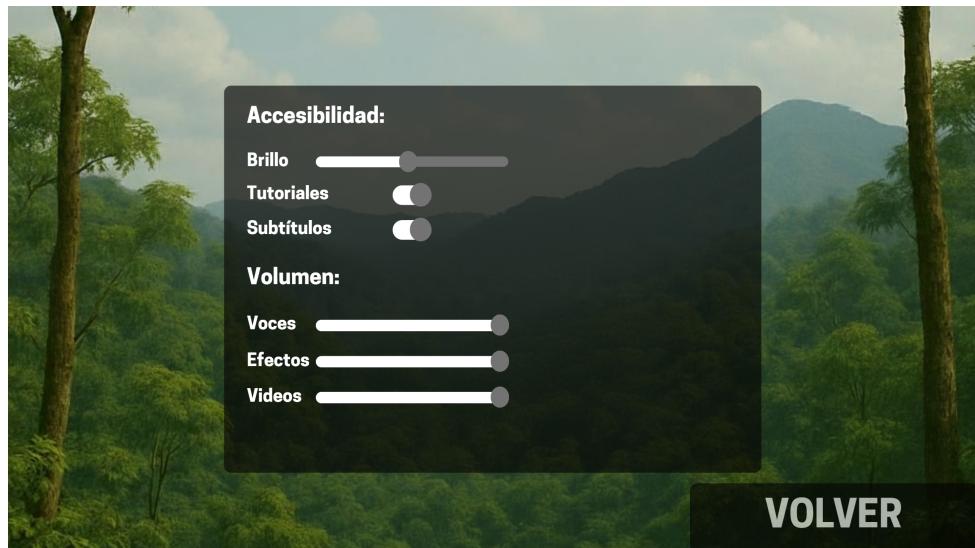


Figura 4.4: Imagen ilustrativa del diseño inicial de las opciones de configuración del prototipo.



Figura 4.5: Imagen ilustrativa del diseño inicial para el selector de dificultad del prototipo.



Figura 4.6: Imagen ilustrativa del diseño inicial de las preguntas.



Figura 4.7: Imagen ilustrativa del indicador de saciedad para el minijuego de tomar agua.

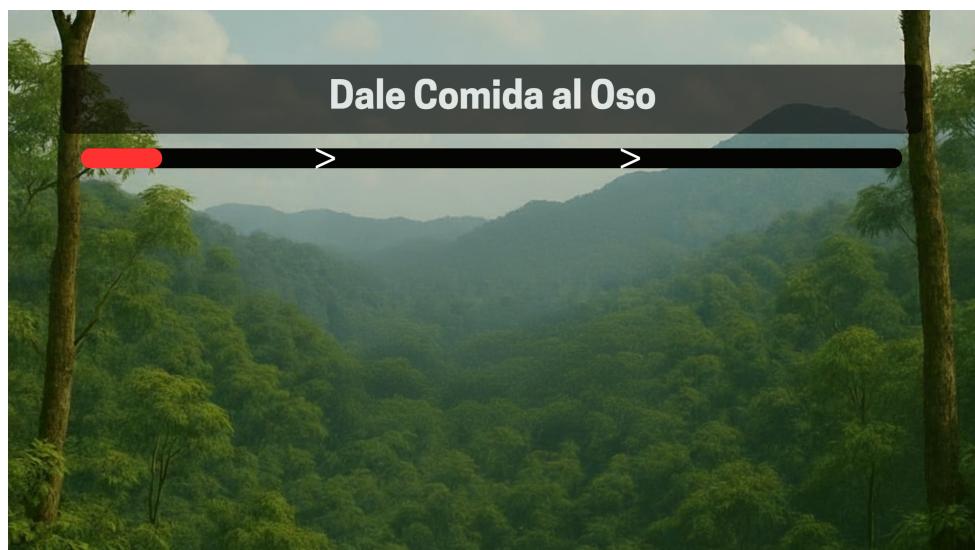


Figura 4.8: Imagen ilustrativa del indicador de saciedad para el minijuego de comer bromelias.

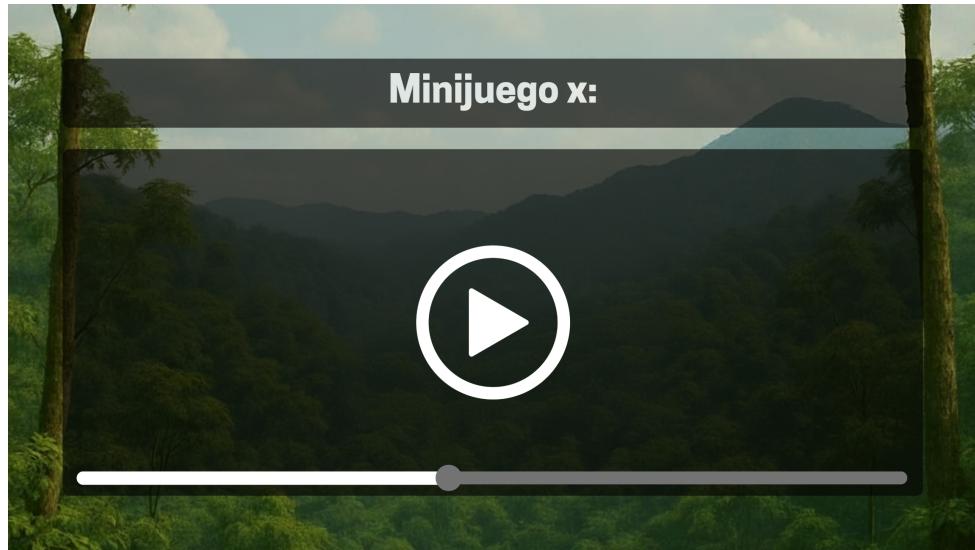


Figura 4.9: Imagen ilustrativa de los tutoriales.

4.4.4. Diagrama de Flujo

El siguiente diagrama de flujo (Figura 4.10) muestra el orden en el que ocurren los eventos dentro del prototipo y cuándo se presenta cada uno de los minijuegos al usuario.

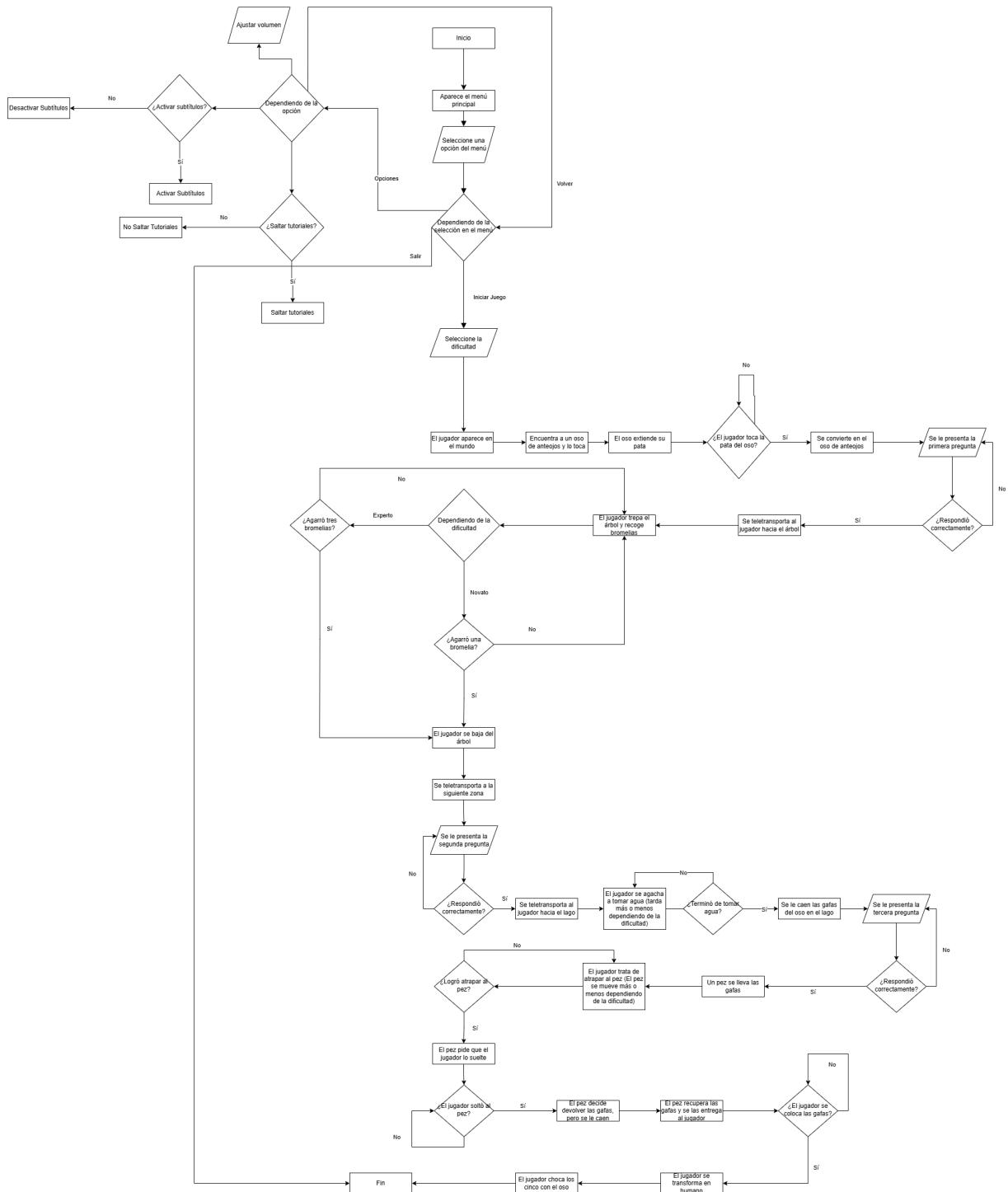


Figura 4.10: Diagrama de Flujo del prototipo.

4.4.5. Diagrama de casos de uso

El siguiente diagrama de casos de uso (Figura 4.11) ilustra las interacciones entre el usuario y el sistema, destacando las funcionalidades principales del prototipo.

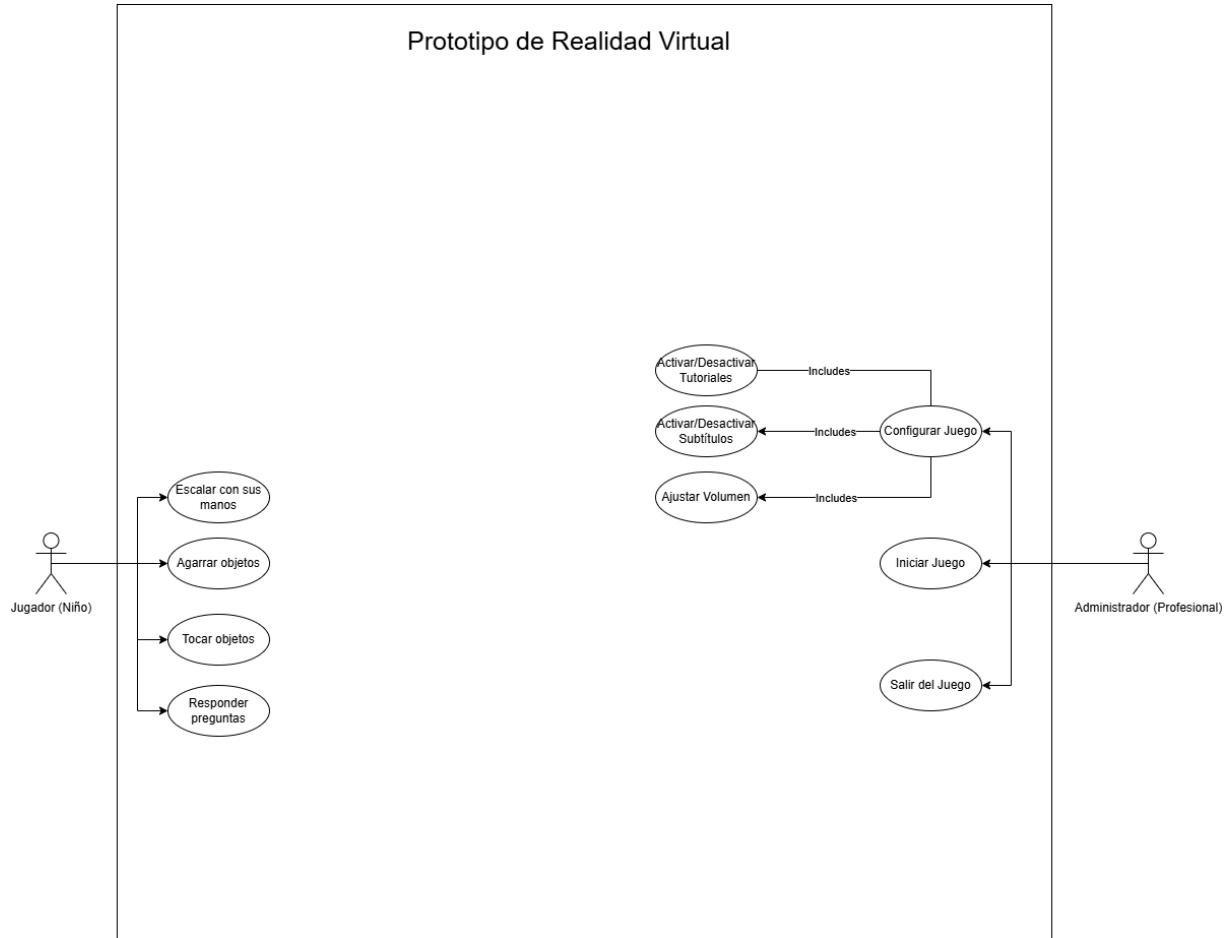


Figura 4.11: Diagrama de Casos de Uso del prototipo.

4.5. Idear

El siguiente apartado detalla la fase de ideación del proyecto, donde se evalúa el diseño del entorno en el que se desarrollará el prototipo, los personajes involucrados y las mecánicas necesarias para implementar los minijuegos planteados. El objetivo era encontrar un diseño de entorno adecuado para el desarrollo de los minijuegos y un diseño de personajes que fuera atractivo para el público objetivo. Además, todos los diseños debían encontrarse lo suficientemente optimizados para garantizar un buen rendimiento en el dispositivo objetivo.

4.5.1. Diseño del Entorno

El diseño del entorno se fundamentó en la riqueza biológica y paisajística de los bosques andinos colombianos, ecosistemas biodiversos y culturalmente significativos que sirven de hábitat natural para el oso de anteojos. A través de investigación visual y referencias de ecosistemas como el Bosque Andino de Iguaque, se capturó la esencia del contexto donde habita

el protagonista, integrando vegetación típica, cuerpos de agua y topografía característica para fortalecer la inmersión narrativa y el aprendizaje contextual sobre conservación ambiental.

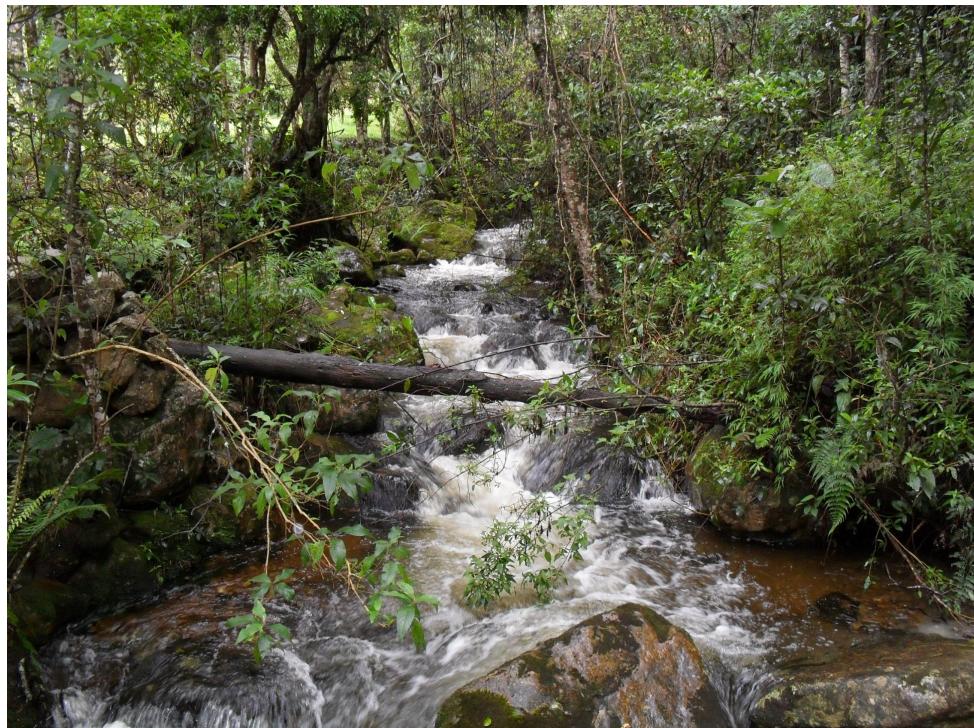


Figura 4.12: Referencia visual del Bosque Andino de Iguaque, inspiración para el diseño del entorno del prototipo.

4.5.2. Iteración de diseño: XR Academia y validación temprana

Durante la etapa de diseño se presentó una versión alpha del prototipo en la XR Academia, lo que permitió recopilar retroalimentación crítica de expertos y usuarios potenciales. En esta iteración se observó que la versión inicial del terreno (Ver figura: 4.13), aunque visualmente atractiva con alto nivel de detalle, no cumplía con los requisitos de fluidez y rendimiento necesarios para la ejecución nativa en gafas Quest 3. Adicionalmente, se identificó que los pequeños detalles visuales podían distraer la atención de niñas y niños durante la experiencia inmersiva, interfiriendo con los objetivos pedagógicos y la concentración en la narrativa.

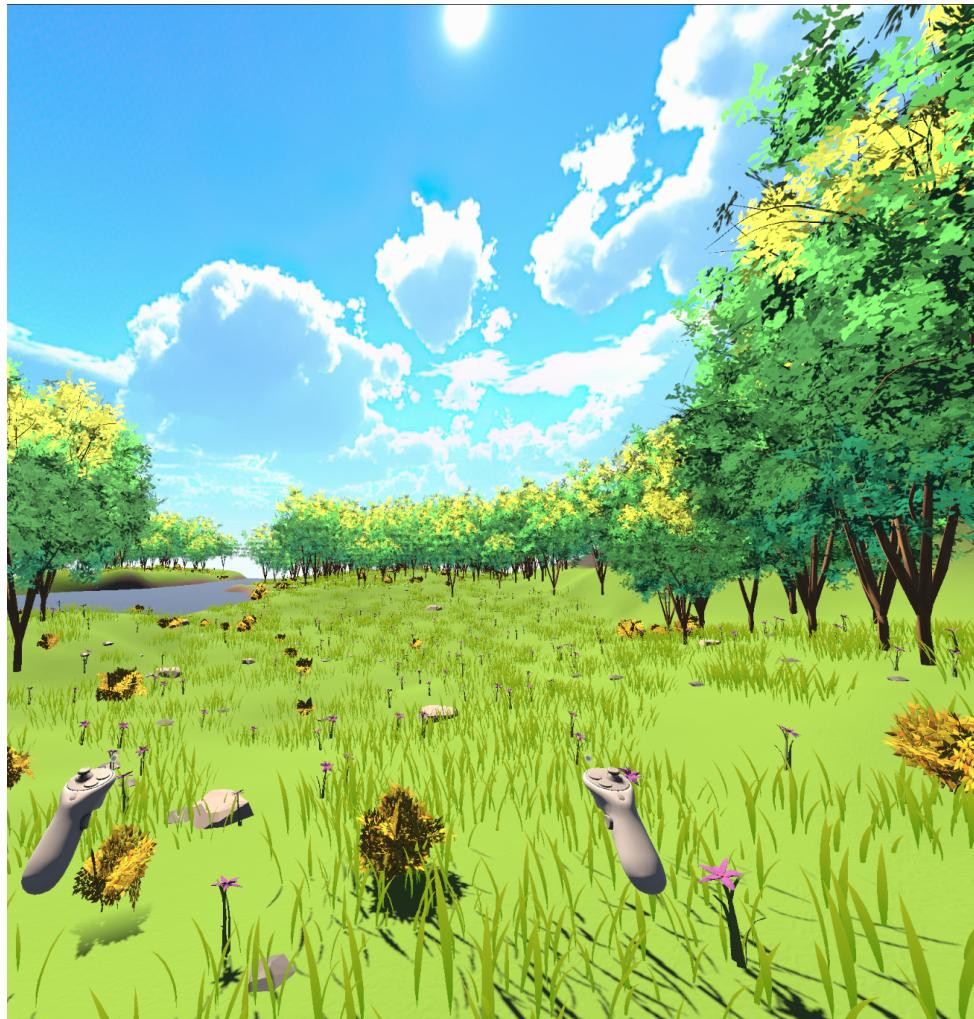


Figura 4.13: Versión inicial del terreno (v1) con alto nivel de detalle visual y polígonos, utilizada en XR Academia para validación temprana.

4.5.3. Optimización de terreno para requisitos de rendimiento

A partir de la retroalimentación, se optó por un diseño de terreno más simple que mantuviera la estética visual del ecosistema andino mientras cumplía con los requisitos de rendimiento y fluidez. La simplificación incluyó reducción de polígonos, eliminación de detalles secundarios y una paleta de colores clara con contraste visual adecuado para usuarios con diversidad sensorial, manteniendo coherencia con los requisitos no funcionales de accesibilidad (RNF-3) y rendimiento (RNF-2).

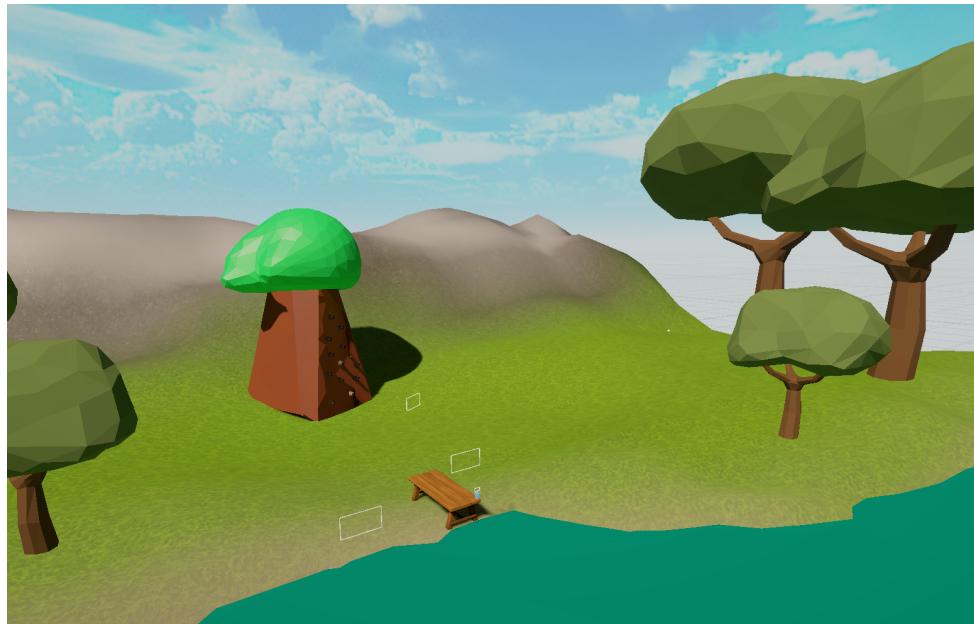


Figura 4.14: Versión optimizada del terreno, reducida en polígonos y detalles, manteniendo la estética del Bosque Andino y asegurando rendimiento en dispositivo.

4.5.4. Diseño de zonas de acción y minijuegos

Las zonas de acción fueron diseñadas de manera específica para cada minijuego definiendo en la sección de Actividades 4.4.1, siguiendo principios de claridad visual, accesibilidad y optimización de recursos.

Zona de escalada: árbol interactivo

Para el minijuego de escalada se diseñó un árbol sencillo y de bajo conteo poligonal, priorizando interactividad y facilidad de modelado. El árbol se optimizó para permitir puntos de agarre claros y visibles, con un modelo simplificado que facilita la experiencia de escalada sin sobrecargar el dispositivo. (Ver Figura 4.15).



Figura 4.15: Zona de escalada con árbol interactivo de bajo conteo poligonal, diseñado para la primera actividad del prototipo.

Elemento botánico: bromelia modelada con tecnología generativa

Para la inclusión de flora nativa del ecosistema andino, se utilizó la herramienta Meshy para generar un modelo 3D de bromelia (*Bromelia sp.*), planta característica del Bosque Andino. Posterior a la generación, se realizaron ajustes iterativos de geometría (reducción de polígonos), texturización y materiales para optimizar la experiencia visual sin comprometer rendimiento. La bromelia se integró como elemento narrativo y visual clave en el entorno. Ver Figuras 4.17 y 4.16.



Figura 4.16: Imagen de bromelia usada como referencia para la generación del modelo en Meshy.

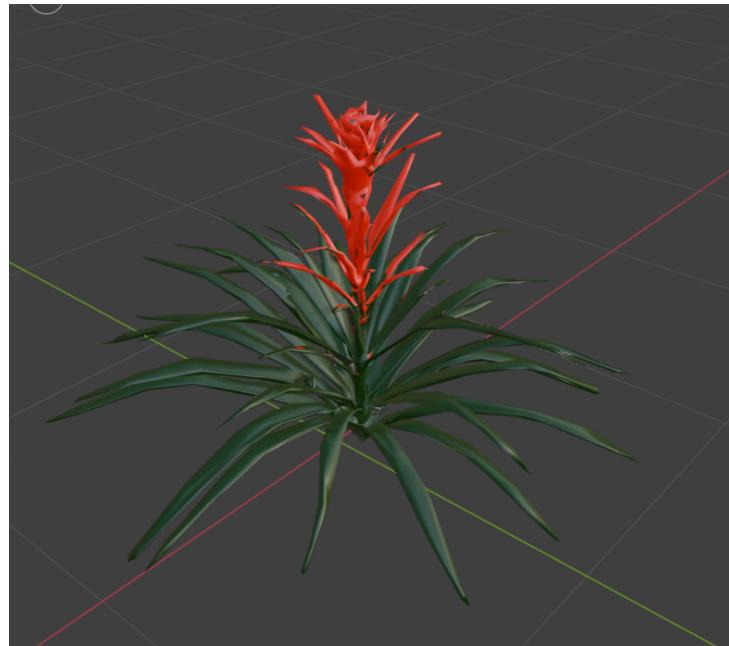


Figura 4.17: Modelo de bromelia generado con Meshy y ajustado en Blender para optimización de polígonos y texturización.

Zona acuática: lago y minijuegos de agua

Para los minijuegos 2 y 3 se diseñó una zona acuática compuesta por un lago con agua simplificada (shader de agua básico para mantener rendimiento) y elementos de interacción. Se agregó una mesa y un vaso como elementos interactivos para el minijuego de tomar agua, diseñados con claridad visual y accesibilidad para usuarios con diversidad sensorial. La zona acuática se optimizó para garantizar fluidez y facilidad de navegación (Ver Figura 4.18).



Figura 4.18: Zona acuática con lago y mesa para el minijuego de tomar agua, mostrando simplicidad de formas y claridad visual.

Personaje: modelo del oso de anteojos

El modelo tridimensional del oso de anteojos fue proporcionado por el director del proyecto, Dr. Andrés Navarro Newball, cuyos ajustes técnicos incluyeron optimización de geometría (reducción de polígonos) y desarrollo completo de texturización y materiales. El resultado es un personaje con presencia visual clara, apropiado para población infantil y coherente con los objetivos narrativos de empatía y conexión emocional. Por ello, se priorizó un diseño amigable y expresivo que facilite la identificación del usuario con el protagonista (Ver Figura 4.19).



Figura 4.19: Modelo del oso de anteojos utilizado como personaje principal, con texturización y materiales finales optimizados.

Personaje: modelo del pez

Para el caso del pez, se optó por encontrar un modelo 3D ya existente en línea que cumpliera con los requisitos de optimización y estética necesarios para el prototipo. Se seleccionó un pez de un color rojo vibrante que contaba con una cantidad adecuada de polígonos para garantizar un buen rendimiento en el dispositivo objetivo (Ver Figura 4.20).

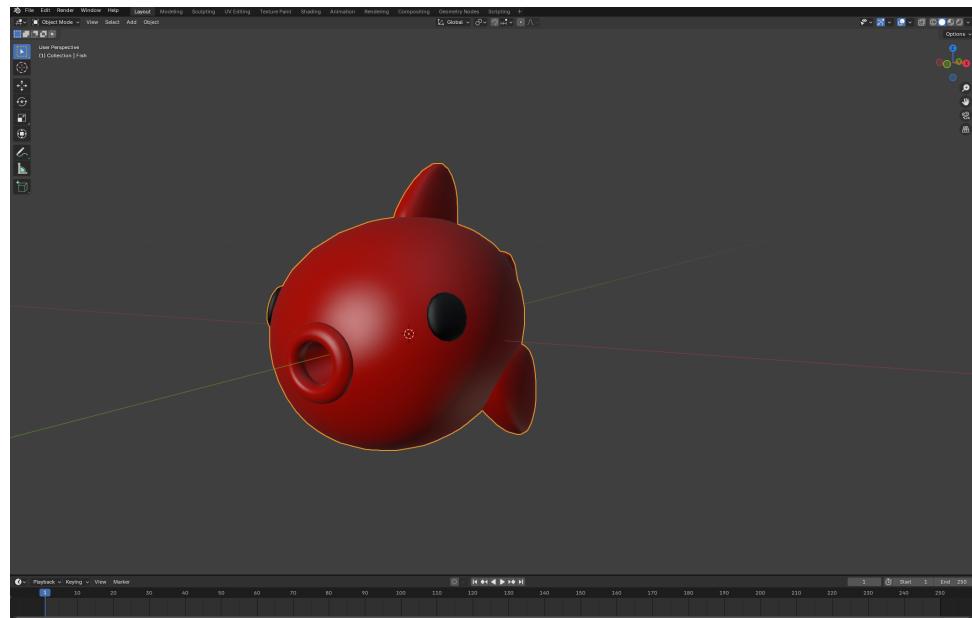


Figura 4.20: Muestra del modelo 3D seleccionado para el pez en Blender.

4.5.5. Estrategia de una única escena

El prototipo fue desarrollado en una única escena Unity que integra todas las zonas de acción, el personaje principal y los elementos de narrativa. Esta decisión de diseño se justifica por: (i) facilitar el desempeño y carga en dispositivo standalone; (ii) permitir navegación y transiciones fluidas sin interrupciones de carga; (iii) simplificar la gestión de estado global y eventos narrativos; y (iv) minimizar el tamaño del ejecutable para instalación directa en Meta Quest. La arquitectura de una escena centralizada facilita también la instrumentación de telemetría y registro de eventos de interacción para análisis posterior con profesionales del INCS.

4.5.6. Configuración del Esqueleto

Para poder realizar las animaciones del Oso de Anteojos y a su vez permitir al jugador poder convertirse en el mismo, fue necesario configurar un esqueleto (rig) que permitiera manipular las diferentes partes del modelo 3D. La integración del esqueleto permitiría manipular cada una de las partes del modelo 3D de tal forma que se pudieran crear animaciones fluidas y realistas. Gracias a la poca complejidad del modelo 3D y su parecido a la anatomía, se optó por utilizar la herramienta de rigging automática de *Mixamo* para generar el esqueleto del Oso de Anteojos (Ver Figura 4.21). Una vez configurado, se exportó el modelo 3D con el esqueleto en formato *FBX* para poder revisarlo en la herramienta Blender (Ver Figura 4.22)

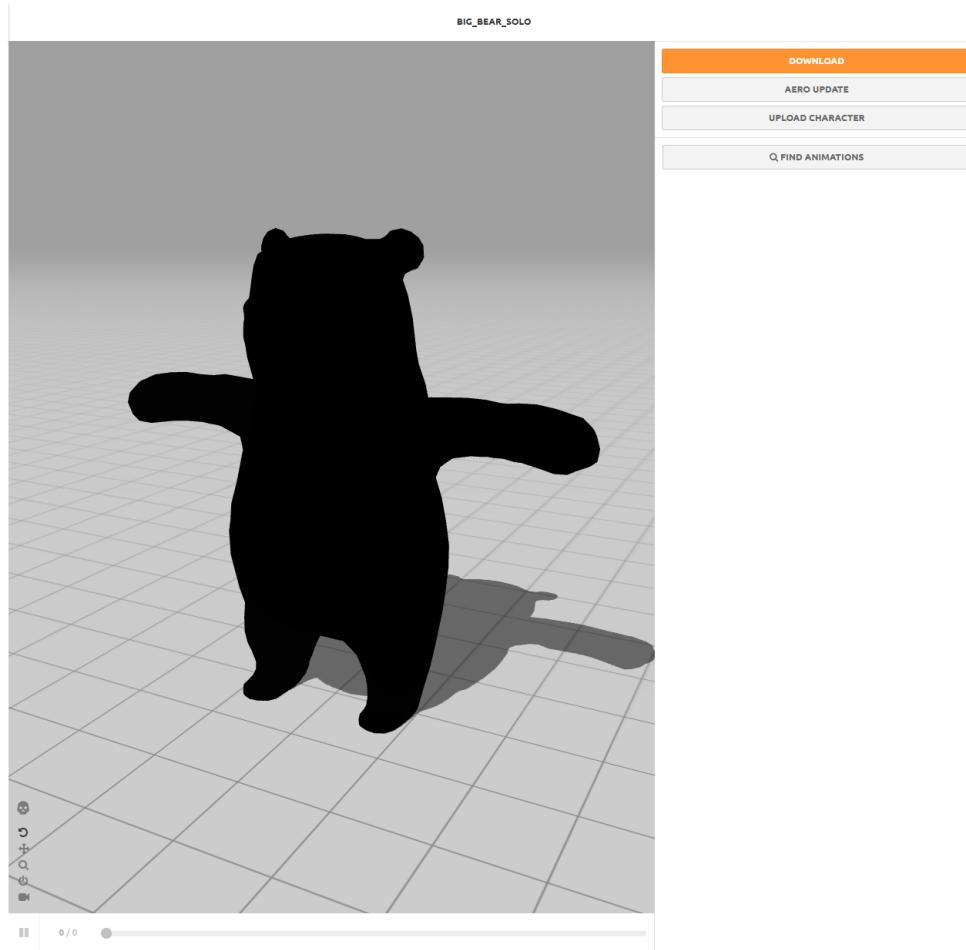


Figura 4.21: Muestra del Oso de Anteojos con el esqueleto integrado en Mixamo.

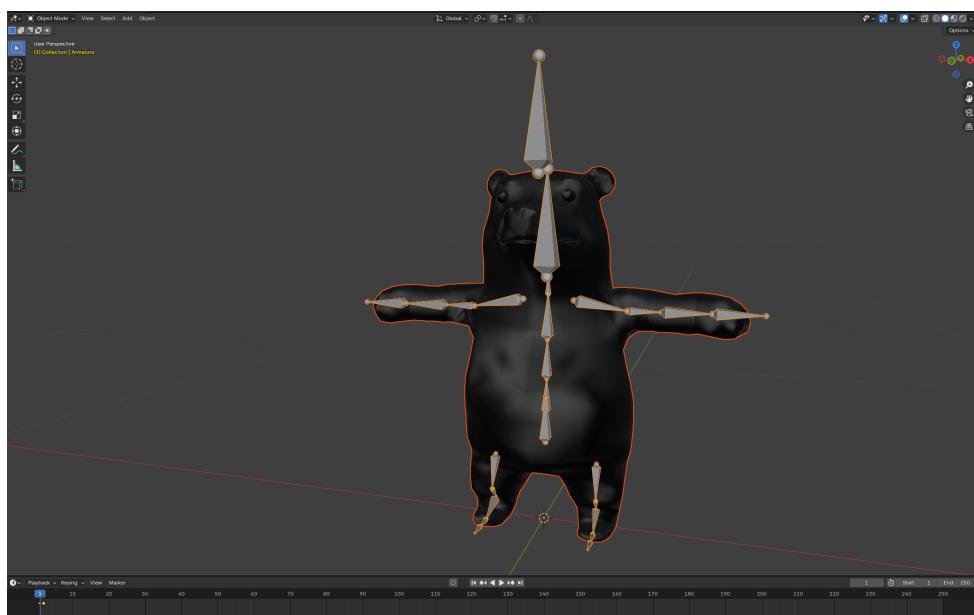


Figura 4.22: Muestra del Oso de Anteojos con el esqueleto integrado en Blender.

4.5.7. Animaciones:

Oso de Anteojos:

Para el Oso de Anteojos, se consideró la necesidad de crear animaciones que fueran realistas y atractivas para el público objetivo. Esto se buscó con el fin de hacer que el jugador se sintiera más inmerso en el entorno del juego y pudiera identificarse con el personaje. Para poder lograr esto, se optó por utilizar la técnica del *body tracking*. Esta técnica lo que busca es capturar los movimientos del cuerpo humano y poder adaptarlos a un esqueleto virtual. Para grabar las animaciones, se hizo uso del laboratorio de captura de movimiento de la Pontificia Universidad Javeriana Cali, el cual cuenta con un sistema de captura de movimiento basado en cámaras infrarrojas y marcadores reflectivos. La persona encargada de grabar las animaciones (Ver Figura 4.23) se colocó los marcadores reflectivos de acuerdo a la distribución establecida por el software *Qualisys* (Ver Figura 4.24) para que el sistema pudiera capturar los movimientos de manera precisa (Ver Figura 4.25).

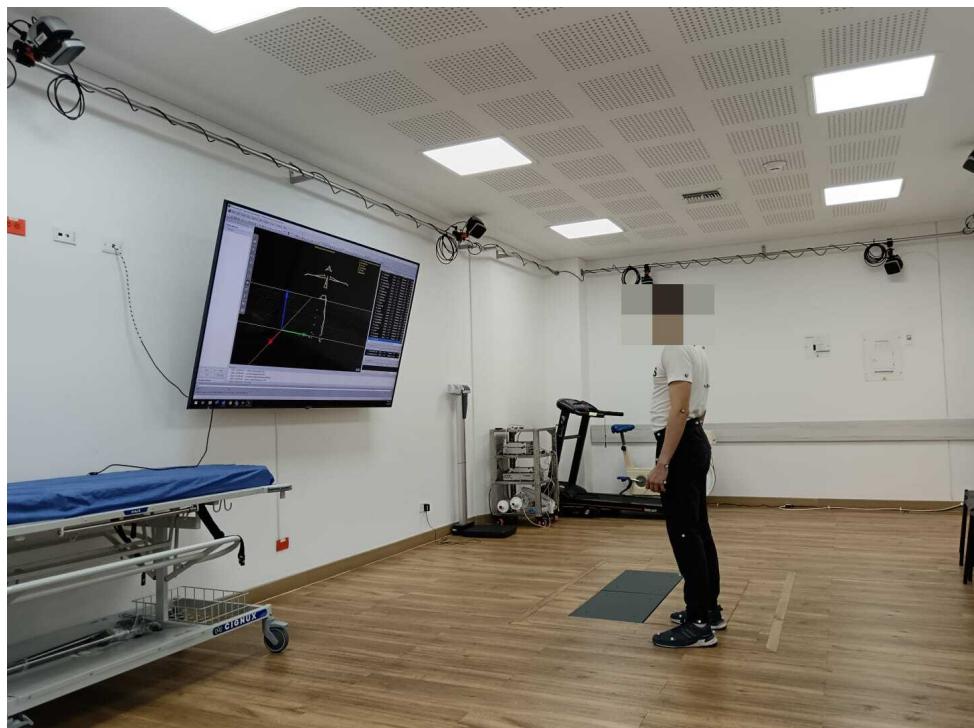


Figura 4.23: Proceso de Captura de Movimiento en el laboratorio de la PUJ Cali.

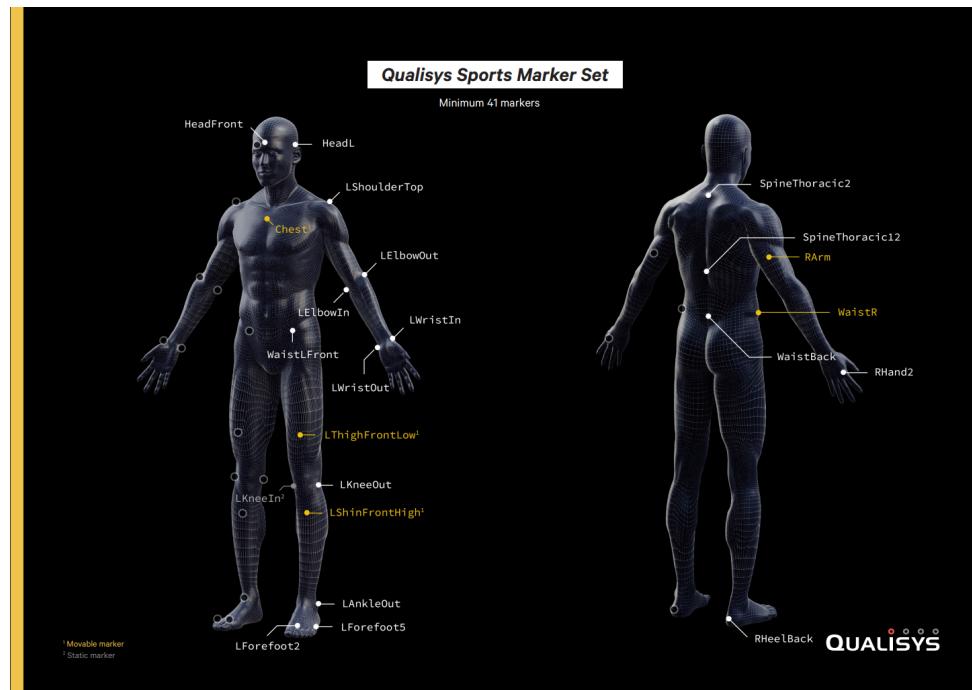


Figura 4.24: Distribución de los marcadores reflectivos para la captura de movimiento.

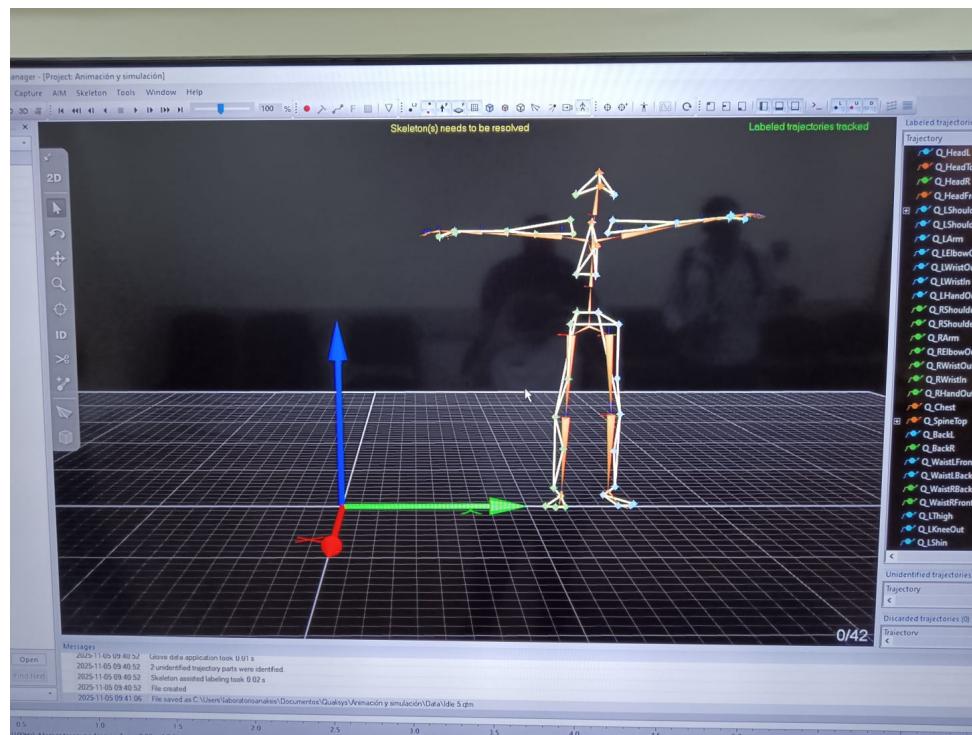


Figura 4.25: Vista de la captura de movimiento desde el software.

Ya con las animaciones grabadas, se procedió a exportarlas en formato *FBX* para luego importarlas en Blender y hacer los ajustes necesarios para descartar los fotogramas sobrantes y corregir posibles errores en las animaciones (Ver Figura 4.26).

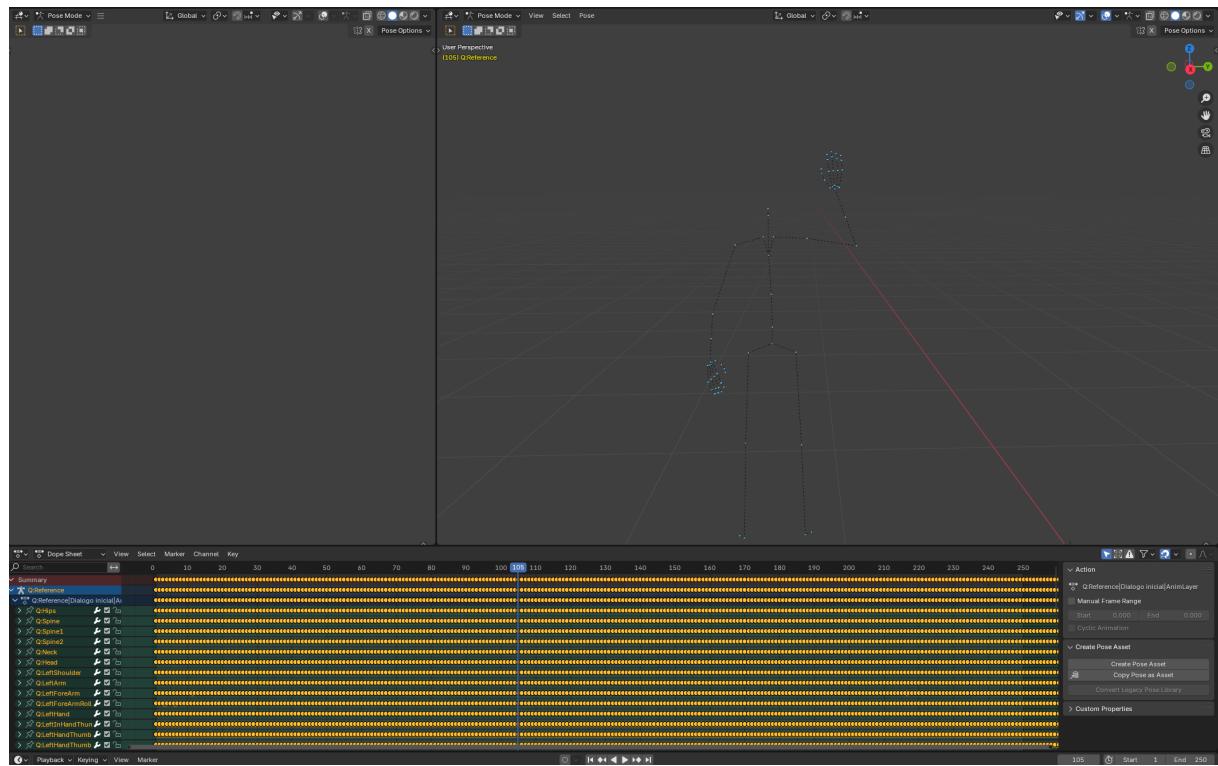


Figura 4.26: Edición de las animaciones en Blender.

Gracias a que tanto los esqueletos generados por *Mixamo* como los obtenidos por *Qualisys* son configurados para ser de tipo *Humanoide*, fue posible realizar la transferencia de las animaciones grabadas al esqueleto del Oso de Anteojos sin mayores inconvenientes. En la herramienta de Unity, se establecieron ambos esqueletos como tipo *Humanoide* y se implementaron las animaciones dentro del esqueleto del Oso de Anteojos (Ver Figura 4.27).



Figura 4.27: Vista previa de las animaciones funcionando con el esqueleto del Oso de Anteojos.

Pez:

Para el caso del pez, como su modelo 3D no cuenta con extremidades tan notorias, se optó por crear animaciones simples que simularan el movimiento de nado del pez. Para ello, simplemente se hizo uso de la misma herramienta de Unity, donde se crearon animaciones que trasladaban y rotaban el modelo 3D del pez para simular el movimiento de nado (Ver Figura 4.28).

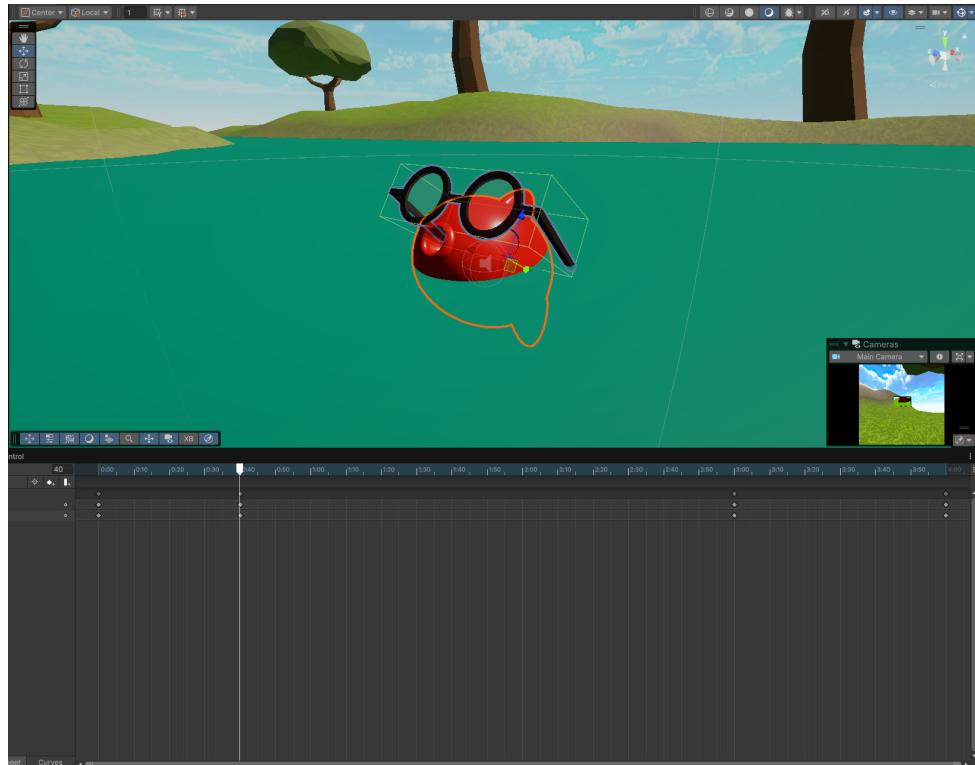


Figura 4.28: Vista previa de las animaciones del pez en Unity.

Capítulo 5

Implementación

Para el desarrollo del prototipo, se utilizó el motor de desarrollo Unity 3D. Esto se debe a que el motor cuenta con gráficos optimizados, herramientas de creación de perfiles y kit de herramientas *XR Interaction* que ayudan a agilizar el desarrollo y a reducir los requisitos de codificación entre plataformas [19], por supuesto, incluyendo las Meta Quest. Además, Unity cuenta con un *renderer* llamado *Universal Render Pipeline (URP)*, el cual permite optimizar los gráficos para dispositivos de RV [19]. Para poder desarrollar las mecánicas de interacción en RV, se utilizó el paquete *XR Interaction Toolkit* de Unity, el cual permite establecer al jugador como *Interactor* y a los objetos con los que va a interactuar como *Interactables*, permitiendo así la interacción con objetos dentro del entorno. A continuación, se describen los aspectos más relevantes del desarrollo del prototipo.

5.1. Manejo de Escenas:

El prototipo se encuentra dividido en varias escenas, cada una con un propósito específico. La escena principal es la *MainMenu*, desde la cual el usuario puede iniciar la experiencia, seleccionar la dificultad, ajustar los parámetros o salir de la aplicación. Las siguientes escenas corresponden a los dos niveles de dificultad: *TerrainRookie* y *TerrainExpert*. Cada una de estas contiene los mismos elementos dentro del espacio virtual, con la diferencia en el nivel de dificultad de los minijuegos. El ajuste a la dificultad de cada uno de los minijuegos se explicará a mayor detalle más adelante.

5.2. Menú Principal:

Para la creación del menú principal, se utilizó el UI Canvas de Unity adaptado para RV. Esto permitía adaptar los elementos del menú que fueran interactivos para que pudieran ser seleccionados mediante la interacción con los hápticos del usuario. Además, el proceso de renderizado del menú fue optimizado gracias a la implementación de un *OVR Overlay Canvas*.

del SDK de Oculus, el cual permite renderizar el menú de manera más eficiente en dispositivos Meta Quest.

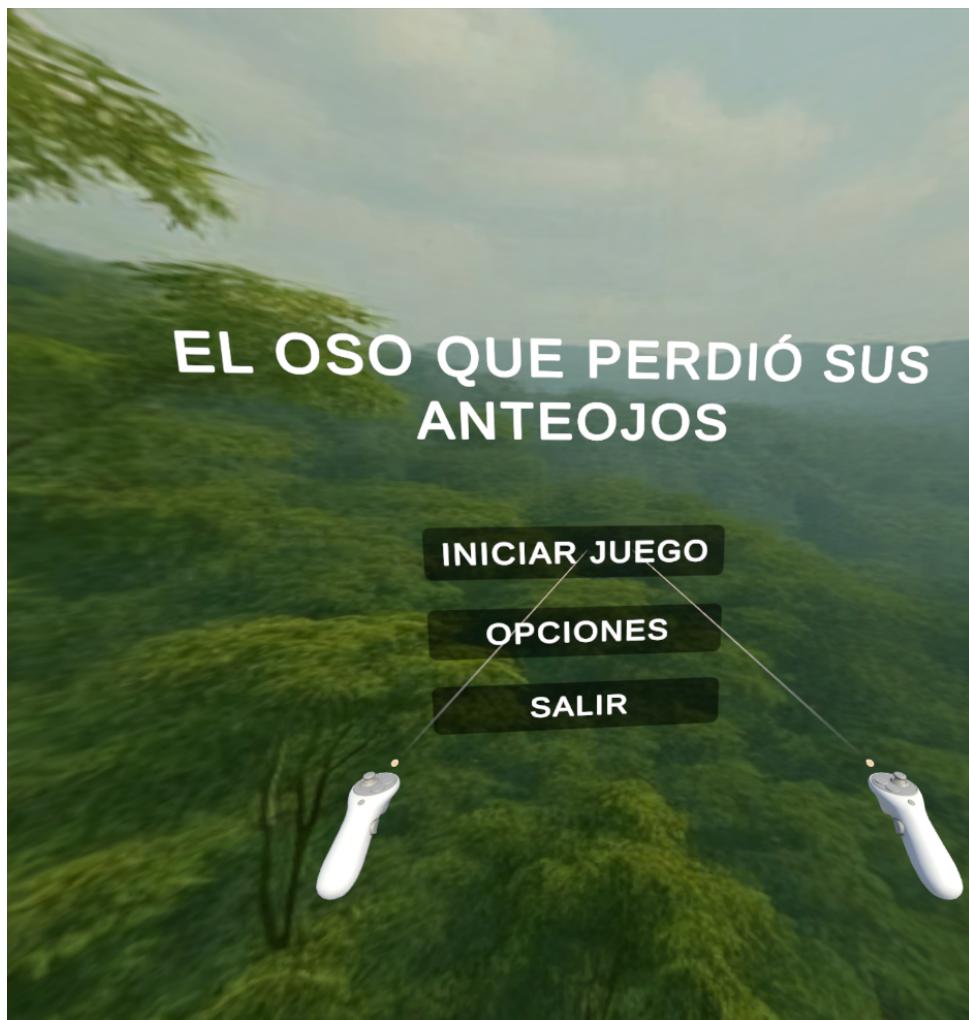


Figura 5.1: Vista previa del menú principal dentro del Prototipo.

Para el caso de manejar las diferentes opciones de configuración (Ver Figura 5.2), se tuvo que implementar varios *scripts* en el lenguaje de programación C#. El objetivo de estos *scripts* era el de acceder a los valores de las diferentes opciones del menú y poder almacenarlos para que fueran utilizados en las escenas de los minijuegos. Por ejemplo, para el caso de la opción de ajustar el volumen del audio, se creó un script que accedía al valor del *slider* correspondiente y lo almacenaba en una variable. Así, al iniciar cualquiera de las escenas, el valor almacenado era utilizado para ajustar el volumen del audio del juego.

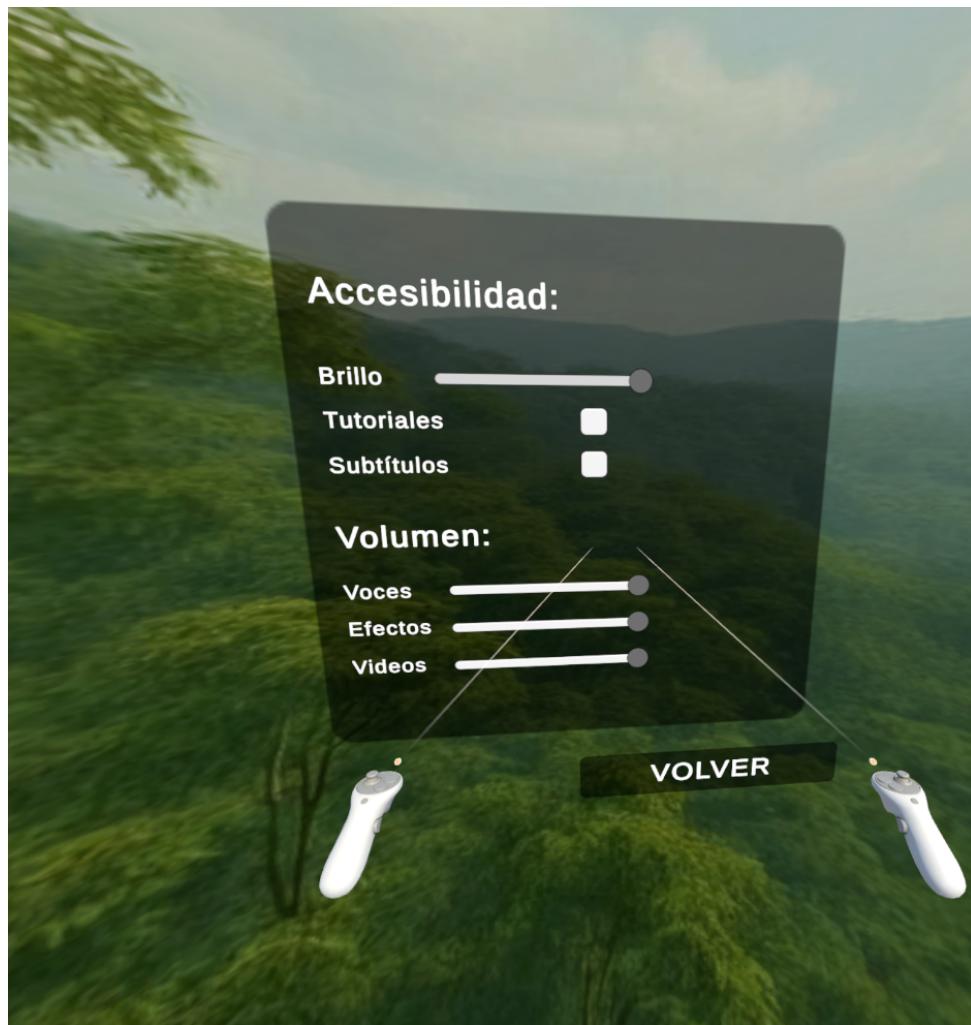


Figura 5.2: Vista previa del menú de opciones dentro del Prototipo.

El reto en este caso fue el de lograr que los *GameObjects* encargados de pasar los valores a las escenas de los minijuegos no fueran destruidos al cambiar de escena. Para esto, se utilizó el método *DontDestroyOnLoad()* de Unity, el cual permite que un *GameObject* persista entre escenas (Ver Figura 5.3). De esta manera, se logró que los valores de las opciones de configuración se mantuvieran al efectuar el cambio.

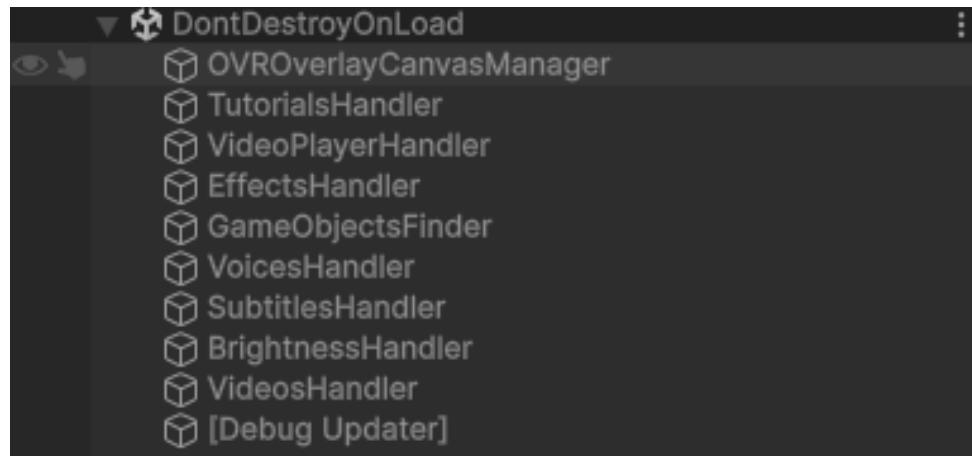


Figura 5.3: GameObjects encargados de guardar las opciones de configuración preservados entre escenas.

Para la implementación de la opción de seleccionar la dificultad (Ver Figura 5.4), simplemente se creó un *script* que cambiara a la escena que corresponde a la dificultad seleccionada una vez el usuario presionara el botón con la dificultad deseada.



Figura 5.4: Vista previa del menú de selección de dificultad dentro del Prototipo.

Por último, para la opción de salir de la aplicación, se utilizó el método *Application.Quit()* de Unity, el cual cierra la aplicación cuando es llamado.

5.3. Transformación en el Oso de Anteojos:

Una de las mecánicas principales del prototipo es la transformación del usuario en un oso de anteojos. Para lograr esto, se hizo uso del modelo 3D del oso de anteojos con el esqueleto asignado explicado en 4.5.6 y, con ayuda del paquete de *Animation Rigging* de Unity, se le aplicaron *Inverse Kinematics (IK)* a las extremidades del esqueleto del oso (Ver Figura 5.5), con el objetivo de que las manos y la cabeza siguieran los movimientos de los hápticos y la cámara del usuario.

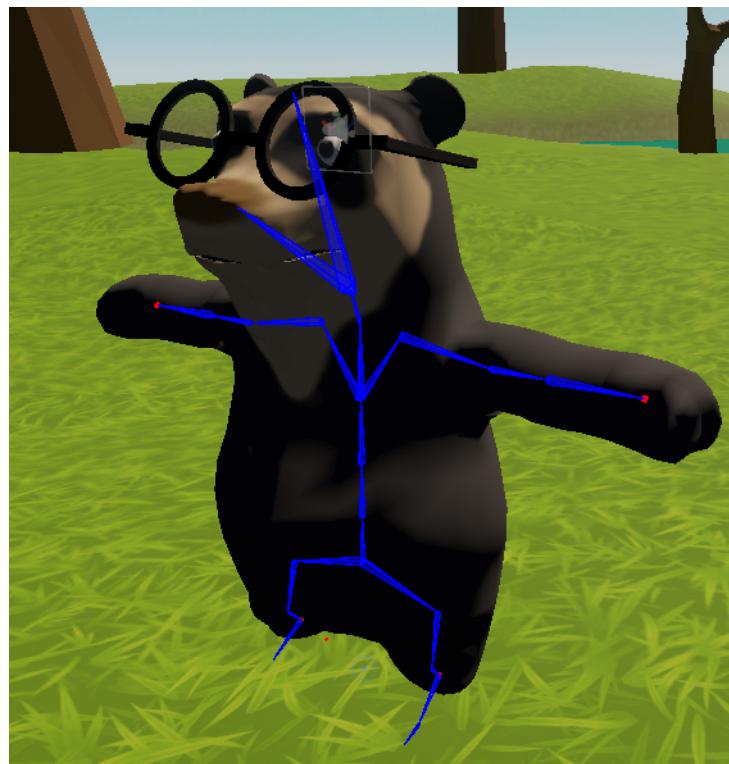


Figura 5.5: Configuración de *Inverse Kinematics* para el esqueleto del oso de anteojos.

El problema con esta implementación es que, al ser el oso de anteojos mucho más ancho que el usuario, la cámara del mismo quedaba dentro del modelo 3D, lo que provocaba que se pierdiera la sensación de inmersión. Dado que la cámara está asociada al *headset* del usuario, no se podía mover la cámara hacia adelante sin afectar la experiencia de RV. Por lo tanto, se decidió mover el modelo 3D del oso de anteojos hacia atrás en el eje Z (Ver Figura 5.6), y aplicar un *script* que ajustara la posición y rotación del modelo 3D respecto a la posición y rotación de los hápticos y la cabeza.

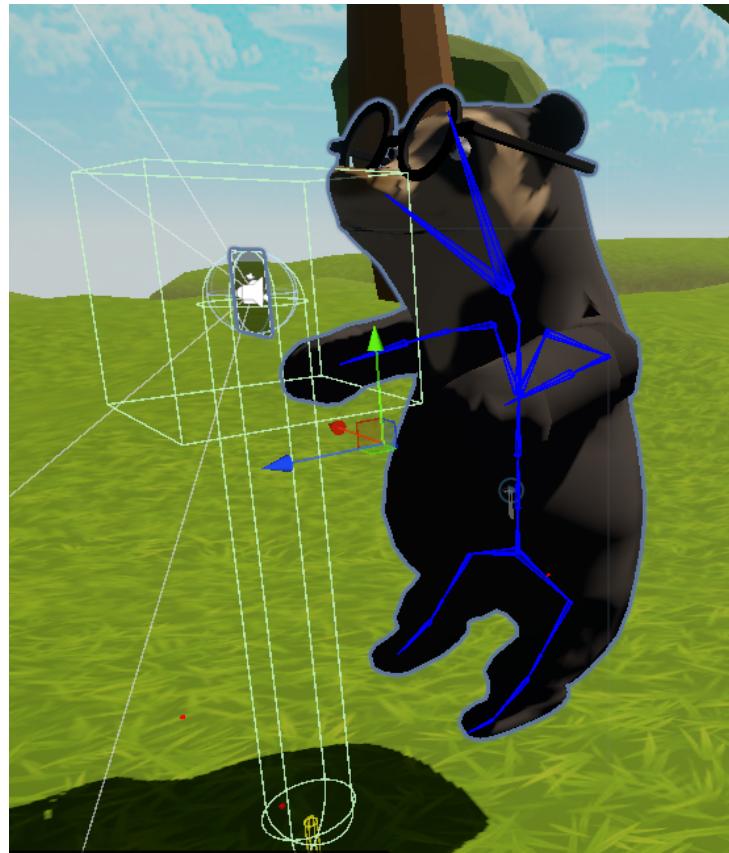


Figura 5.6: Ajuste de la posición del modelo 3D del oso de anteojos para mejorar la experiencia de inmersión.

5.3.1. Implementación del algoritmo:

El *script* toma la posición y rotación de los hápticos y la cabeza del usuario, genera objetivos de IK para cada una de las partes y hace que todo el cuerpo gire poco a poco dependiendo de si la dirección de la cabeza supera un umbral establecido y qué tan alineadas se encuentran las manos.

Mapeo VR a IK:

Se crea una clase llamada *VRMap* que obtiene la posición y rotación del referente VR (cabeza o manos) y la asigna a un objetivo de IK correspondiente. La siguiente fórmula se utiliza para calcular la posición del objetivo de IK:

$$p_{ik} = R_{vr}o + p_{vr} \quad (5.1)$$

Donde R_{vr} representa la matriz de rotación del referente VR, p_{vr} la posición del mismo y o un vector *offset* asignado arbitrariamente.

Para el caso de la rotación, se utiliza la siguiente fórmula:

$$q_{ik} = q_{vr}q_{off} \quad (5.2)$$

Donde q_{vr} es la rotación del referente VR y q_{off} es una rotación de *offset* asignada arbitrariamente.

Decidir si el cuerpo gira o no:

Se crea una proyección de la dirección de la cabeza en el plano XZ, y se calcula el ángulo de la proyección siguiendo la siguiente fórmula:

$$\theta_{head} = \text{atan2}(x, z) \times \frac{180}{\pi} \quad (5.3)$$

Donde (x, z) son las componentes X y Z de la proyección de la dirección frontal de la cabeza.

Luego, se calcula el punto medio entre las dos manos de la siguiente manera:

$$p_{mid} = \frac{p_{left} + p_{right}}{2} \quad (5.4)$$

Con estos valores, se calcula un *zaw* de torso con un vector que va desde la cabeza hasta el punto medio calculado y este se proyecta hacia el plano XZ. Ahora, se calcula el ángulo de esta proyección de la misma manera que con la cabeza:

$$\theta_{torso} = \text{atan2}(x, z) \times \frac{180}{\pi} \quad (5.5)$$

Donde esta vez, (x, z) son las componentes X y Z de la proyección del vector desde la cabeza hasta el punto medio de las manos.

Con ello, se comparan los ángulos con la función *Mathf.DeltaAngle()* de Unity, representados de la siguiente manera:

$$\Delta_{head-body} = |\Delta(\text{bodyYaw}, \theta_{head})| \quad (5.6)$$

Para calcular cuánto difiere la cabeza del cuerpo.

$$\Delta_{torso-head} = |\Delta(\theta_{torso}, \theta_{head})| \quad (5.7)$$

Para comprobar qué tan alineadas están las manos con la cabeza

Finalmente, se decide si el cuerpo debe girar o no dependiendo de los siguientes umbrales:

- Si $\Delta_{head-body} > yawDeadZone$ y $\Delta_{torso-head} \leq handsAlignWindow$, el cuerpo gira hacia la dirección de la cabeza.
- Si no se cumple lo anterior, el cuerpo no gira.

Donde $yawDeadZone$ y $handsAlignWindow$ son valores ajustables que definen el umbral para que el cuerpo gire y el margen de alineación de las manos, respectivamente.

También, esta condición se debe mantener por un $holdTime$ tiempo definido para evitar que el cuerpo gire de manera abrupta.

El giro del cuerpo hacia la cabeza se ve reflejado de la siguiente manera:

$$\delta = \Delta(bodyYaw, \theta_{head}) \quad (5.8)$$

$$step = sign(\delta) \times yawFollowSpeed \times \Delta t \quad (5.9)$$

Donde $yawFollowSpeed$ es una variable ajustable que define la velocidad de giro del cuerpo. Si se cumple que $|\delta| < |step|$, entonces el cuerpo gira directamente hacia la cabeza sin importar la velocidad ($step = \delta$). El cuerpo se movería de la forma $bodyYaw = bodyYaw + step$.

5.3.2. Corrección de las Manos:

Debido al cambio de distancia entre el modelo del Oso de Anteojos y el usuario, las manos del oso no alcanzaban a coincidir con la posición de los hápticos del usuario. Para solucionar esto, se creó un modelo de 3D que únicamente tuviera las manos del oso de anteojos (Ver Figura 5.7).

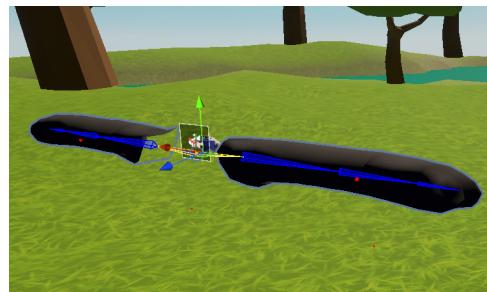


Figura 5.7: Modelo 3D utilizado para la corrección de las manos del oso de anteojos.

Este modelo fue escalado y posicionado de tal manera que las manos del modelo coincidieran con la posición de los hápticos del usuario. Luego de aplicarle los IK a las manos para que pudieran seguir a los hápticos, se modificó el renderizado del modelo para que este no mostrara ninguna sombra. Así, las sombras de las manos que aparecieran en el entorno serían las del modelo original del oso de anteojos, dando la ilusión de que las manos del oso estaban en la posición correcta (Ver Figura 5.8).

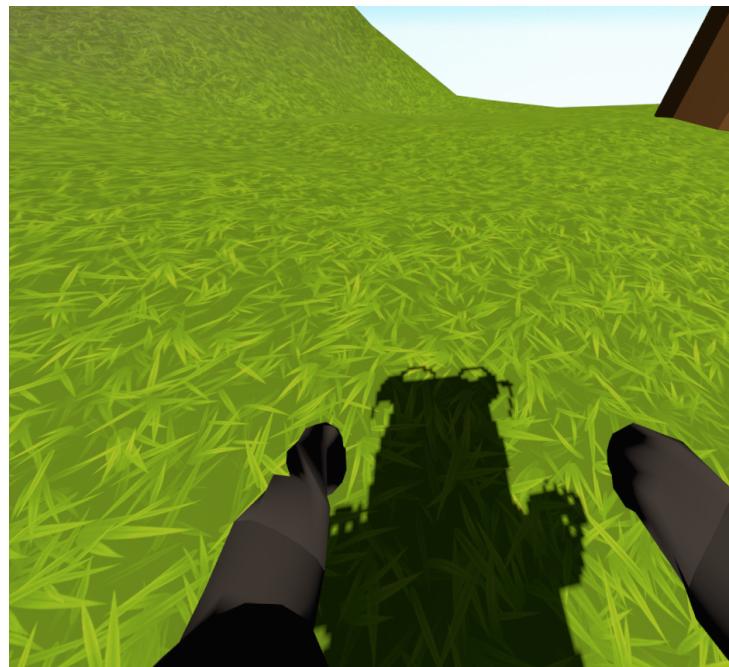


Figura 5.8: Vista en primera persona del usuario con las manos corregidas.

5.4. Manejo de las Voces:

Para la implementación de las voces del oso de anteojos, se utilizó el sistema de audio predeterminado de Unity. Las voces del oso de anteojos y el pez, fueron grabadas por los mismos desarrolladores del prototipo, mientras que la voz del narrador fue hecha por un voluntario que se ofreció a colaborar con el proyecto. Las fuentes de audio se manejaron mediante *Audio Sources* asignados a *GameObjects* específicos dentro de la escena. Cuando se trataban de audios en 2D como la voz del narrador y la del oso cuando el jugador se convierte en él, estos se reproducían directamente desde un mismo *Audio Source* asignado a un *GameObject* vacío en la escena. Para los audios en 3D, como la voz del pez y la del oso de anteojos cuando el jugador no ha aplicado el *BodyTransfer*, se asignaron *Audio Sources* a los modelos 3D correspondientes. Para la reproducción de los audios, se creó un *script* en C# que manejaba la reproducción de los mismos dependiendo del flujo de la historia y las opciones seleccionadas en las preguntas.

5.5. Manejo de los Teletransportes:

Para poder evitar el *motion-sickness* al jugador, se optó por hacer que el avance hacia las distintas zonas fuera por medio de teletransportación. De esta manera, se genera menos movimiento y, por tanto, menos malestar. La selección de la zona a teletransportar la gestión un *script* que obtiene todos los puntos de teletransporte (Ver Figura 5.9) y selecciona el que va acorde con el momento en la historia.

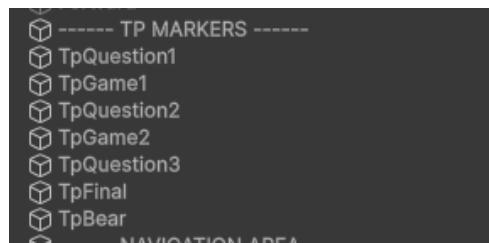


Figura 5.9: *GameObjects* que guardan las ubicaciones a las que se va a teletransportar al usuario.

5.6. Minijuegos de Preguntas:

Para la implementación de los minijuegos de preguntas, se creó un *Canvas* de Unity adaptado para RV y optimizado gracias al *OVR Overlay Canvas*, el cual mostraba las preguntas y las opciones de respuesta en un formato interactivo. Cada opción de respuesta era un *button* que podía ser seleccionado mediante la interacción con los hápticos del usuario. El flujo de las preguntas y respuestas fue manejado mediante un *GameObject* vacío con un *script* en C# que se encargaba de ir presentando las preguntas y opciones de respuesta a medida que el flujo de la historia avanzaba. También, se encargaba de ocultar el *Canvas* cuando el minijuego de preguntas terminaba. Para el caso en el que el usuario marcará la respuesta incorrecta, se le mostraba una gran "X" roja sobre la opción seleccionada, se reproducía un sonido de error y un mensaje de voz del narrador indicando que la respuesta era incorrecta y se le desactivaba esa opción para que no la pudiera volver a seleccionar (Ver Figura 5.10). En caso de que el usuario seleccionara la respuesta correcta, se le mostraba una gran "✓" verde sobre la opción seleccionada, se reproducía un sonido de acierto y todas las opciones se desactivaban para posteriormente ocultarse toda la pregunta (Ver Figura 5.11).



Figura 5.10: Ejemplo de respuesta incorrecta en el minijuego de preguntas.

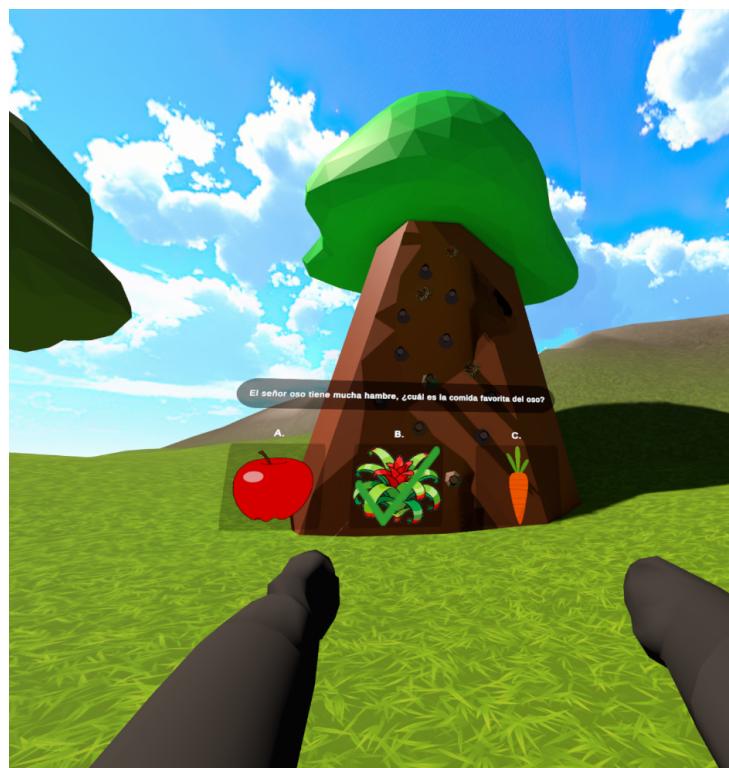


Figura 5.11: Ejemplo de respuesta correcta en el minijuego de preguntas.

5.6.1. Comida Favorita del Oso de Anteojos:

Para esta pregunta, se le presenta al niño una pregunta con tres opciones de respuesta como se muestra en la Figura 5.12.



Figura 5.12: Pregunta sobre la comida favorita del oso de anteojos.

La opción correcta es la opción B, que corresponde a las bromelias. La razón por la cual se seleccionó la bromelia como la comida favorita del oso de anteojos es porque, según la Universidad Nacional de Colombia, los osos de anteojos se conocen por ser omnívoros, pero prefieren comer bromelias y frutas [20]. Además, las bromelias hacen parte de la flora colombiana, lo que ayuda a conocer más sobre la biodiversidad del país. El objetivo de esta pregunta es poner a prueba la capacidad de comprensión auditiva y/o textual y de memorización del niño, ya que la respuesta correcta es mencionada por el oso de anteojos antes de que se presente la pregunta.

5.6.2. Líquido para Beber:

Para esta pregunta, se le presenta al niño una pregunta con tres opciones de respuesta como se muestra en la Figura 5.13.



Figura 5.13: Pregunta sobre el líquido que bebe el oso de anteojos.

La opción correcta es la opción A, que corresponde al agua. El objetivo de esta pregunta es poner a prueba la capacidad de intuición y reconocimiento del entorno del niño, ya que como se puede observar en la Figura 5.13, el jugador puede ver al frente un lago donde puede tomar agua el oso de anteojos, por lo que debe deducir que el líquido que debe beber es el agua.

5.6.3. Reconocer los Sentimientos del Oso de Anteojos:

Para esta pregunta, se le presenta al niño una pregunta con tres opciones de respuesta como se muestra en la Figura 5.14.



Figura 5.14: Pregunta sobre el sentimiento del oso de anteojos.

La opción correcta es la opción C, que corresponde a la tristeza. El objetivo de esta pregunta es poner a prueba la capacidad de reconocimiento emocional del niño, ya que en el INCS, los profesionales que trabajan con niños con diversidad sensorial utilizan actividades que les permiten identificar y expresar sus emociones. Por lo tanto, esta pregunta busca evaluar si el niño puede reconocer y comprender las emociones del oso de anteojos en la historia.

5.7. Minijuego de Conseguir las Bromelias:

Para este minijuego, se le presenta al niño un árbol que debe escalar para conseguir las bromelias que se encuentran ahí y comérselas. Para el nivel experto, tiene que recoger tres bromelias en total, contando con un medidor que se va llenando a medida que va comiendo con éxito las bromelias (Ver Figura 5.15). Para el nivel novato, solo tiene que recoger y comer una bromelia (Ver Figura 5.16). La diferencia entre una dificultad y la otra se ve reflejada en los marcadores que aparecen en medidor de la dificultad experta y no en la novata.



Figura 5.15: Minijuego de conseguir las bromelias en dificultad experta.



Figura 5.16: Minijuego de conseguir las bromelias en dificultad novata.

Para la implementación de este minijuego, se agregaron pequeños troncos como los que

se muestran en la Figuras 5.15 y 5.16, los cuales tenían un *collider* que permitía al usuario agarrarse de ellos utilizando la mecánica de agarre del *XR Interaction Toolkit* conocida como *Climb Interactable*. Cuando el usuario lograba alcanzar una bromelia, con ayuda de un *script*, se reproducía un sonido de comer y se llenaba el medidor correspondiente. Una vez llenado por completo la barra, se emite un sonido de acierto y se continúa con la historia. Además, para evitar que el usuario pudiera llegar a perder alguna de las bromelias, se implementó un *script* en cada una de las bromelias que hacía que estas volvieran a su posición original si el usuario las soltaba antes de comerlas. Por otro lado, si el usuario se quedaba agarrado de un tronco mientras se teletransportaba a la siguiente zona, también se implementó un *script* que hacía que el usuario se soltara automáticamente del tronco al iniciar el teletransporte.

Para ayudar a la detección de las bromelias, se agregó una opción dentro del mismo *Interactable* de los objetos que hacía que estos tuvieran un color amarillo cuando el usuario pasaba la mano cerca de ellos (Ver Figura 5.17). La razón por la que se seleccionó el color amarillo es porque es un color que cuenta con mayor facilidad de percepción visual [21]. Así, se buscaba facilitar la detección de las bromelias para los niños con diversidad sensorial que pudieran tener dificultades visuales.



Figura 5.17: Bromelia resaltada en amarillo al acercar la mano.

5.8. Minijuego de Beber el Agua:

Para este minijuego, se le presenta al niño un lago del cual debe beber agua utilizando un vaso que se encuentra en una mesa cercana (Ver Figura 5.18). Para el nivel experto, tiene que beber un total de cinco vasos de agua completamente llenos, contando con un medidor que se va llenando a medida que va bebiendo con éxito los vasos de agua. Para el nivel novato, solo tiene que beber tres vasos de aguas completamente llenos. Una vez el medidor se haya llenado al completo, se emite un sonido de acierto y se continúa con la historia.



Figura 5.18: Minijuego de beber el agua.

Para la implementación de este minijuego, se creó un *script* que detectaba cuando el usuario acercaba el vaso a su boca y, si el vaso contenía agua, se reproducía un sonido de beber y se llenaba el medidor correspondiente. Cuando el usuario acercaba el vaso al lago, el vaso se empezaba a llenar automáticamente de agua, acompañado de un sonido que se va agudizando a medida que se llena más el vaso y un medidor cuyo objetivo es indicar qué tan lleno se encuentra el vaso. Además, para evitar que el usuario pudiera llegar a perder el vaso con agua, se implementó un *script* en el vaso que hacía que este volviera a su posición original si el usuario lo soltaba antes de beberlo completamente.

Para poder mostrar que hay agua dentro del vaso, se utilizó un *shadergraph* personalizado que permitía mostrar agua dentro del vaso y, a medida que el usuario iba llenando o vaciando el vaso, se ajustaba la escala del objeto de agua dentro del vaso para simular que este se estaba llenando o vaciando (Ver Figura 5.19). Además, el agua se había configurado para que cambiara de forma dependiendo de la inclinación del vaso, simulando el comportamiento real del agua.

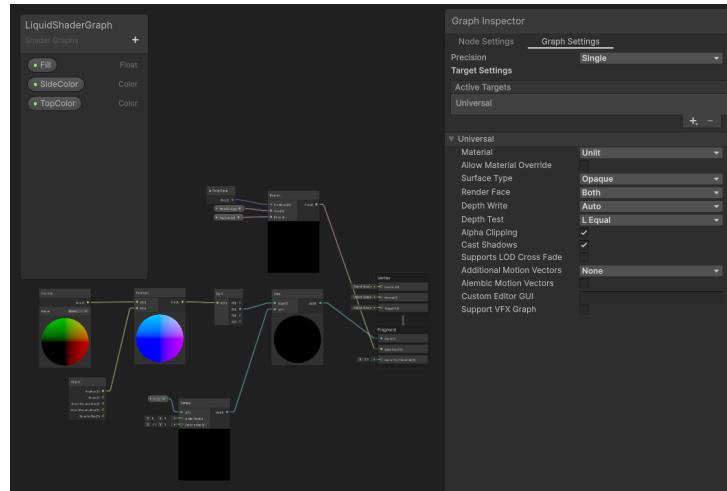


Figura 5.19: Shadergraph personalizado utilizado para simular el agua dentro del vaso.

También, al igual que con las bromelias, se agregó una opción dentro del mismo *Interactable* del vaso que hacía que este tuviera un color amarillo cuando el usuario pasaba la mano cerca de él (Ver Figura 5.20).



Figura 5.20: Vaso resaltado en amarillo al acercar la mano.

5.9. Minijuego de Atrapar al Pez:

Para este minijuego, se le muestra al niño al pez que agarró las gafas del oso tratando de huir (Ver Figura 5.21). El objetivo será el de atrapar a ese pez. La diferencia en dificultad para

este minijuego se ve reflejada en la velocidad de movimiento del pez. En el modo experto se moverá más rápido que en el modo novato.

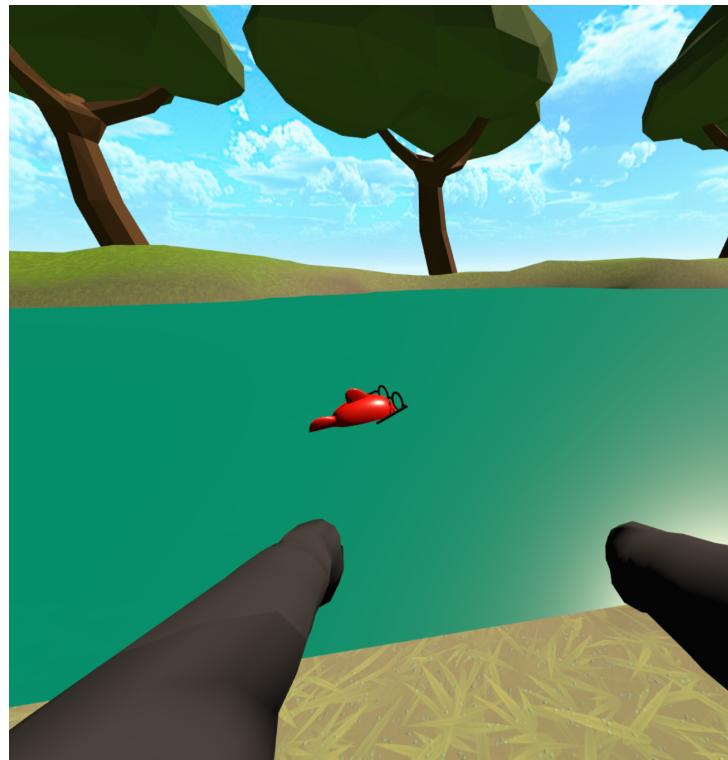


Figura 5.21: Minijuego de atrapar al pez.

Para la implementación de este minijuego, se creó un *GameObject* invisible (Ver Figura 5.22) que sirviera como base para el *NavMesh Surface* del pez. El objetivo de este es servir como referencia para que el *NavMesh Agent* implementado dentro del pez tenga conocimiento de hacia dónde puede dirigirse. El movimiento del pez se genera mediante un *script* que, dados unos parámetros, analiza la superficie disponible para moverse y selecciona puntos aleatorios para poder dirigirse. Cada que se acerca a un punto de destino, este genera otro punto de destino para reducir la pérdida de velocidad. El movimiento aleatorio del pez se detiene en cuanto el jugador logra atraparlo.

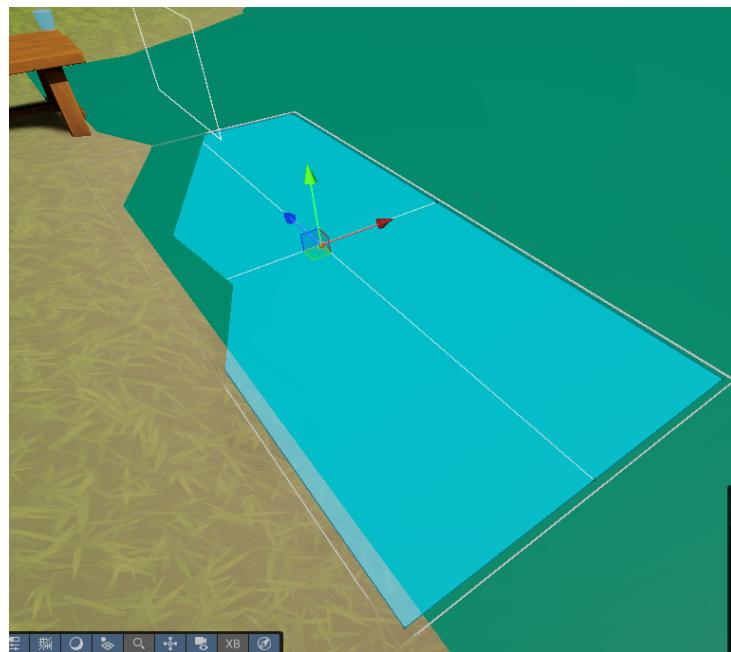


Figura 5.22: Área por la que se puede mover el pez.

5.10. Interacciones Extra:

El prototipo cuenta con otras interacciones que, si bien no cuentan como minijuegos para evaluar, aportan a la inmersión y al avance en la historia. Un ejemplo sería el tocar la pata del oso (Ver Figura 5.23). En este caso, el oso extiende su pata hacia el usuario, esperando a que la toque para poder convertirse en él. Si bien esto no supone un reto para el niño, es una interacción que da a entender la razón por la cual el jugador se termina convirtiendo en el oso de anteojos.



Figura 5.23: El oso de anteojos extendiendo su pata hacia el jugador.

Capítulo 6

Validación y Resultados

6.1. Plan de Pruebas

El plan de pruebas define el alcance, los escenarios, los participantes, los procedimientos y los instrumentos de evaluación para verificar el cumplimiento de los requisitos del prototipo de realidad virtual y valorar su utilidad pedagógica en niñas y niños con diversidad sensorial en el INCS.

6.1.1. Alcance y objetivos

El alcance de las pruebas comprende la evaluación integral del prototipo en un entorno controlado, abarcando tanto la usabilidad y el confort como la comprensión y facilidad de uso durante el gameplay. Se analizará de manera técnica la interacción de los usuarios con las interfaces gráficas y auditivas, evaluando la claridad de los elementos visuales, la accesibilidad de los controles y la efectividad de los audios y subtítulos en la narrativa. Se observará la respuesta de los usuarios ante los distintos retos y mecánicas del juego, así como su capacidad para completar la experiencia de principio a fin, identificando posibles barreras o facilitadores en el proceso.

El propósito de las pruebas es que el prototipo sea accesible para todos los tipos de usuarios con diferentes condiciones sensoriales, donde las validaciones no solo serán para corregir, sino también para recoger la retroalimentación de la experiencia y satisfacción del usuario, de modo que el sistema ofrezca la mejor experiencia educativa que se requiera.

6.1.2. Aprobación ética

Al involucrar sujetos humanos, la aprobación de todos los procedimientos y protocolos éticos y experimentales fue otorgada por el Comité de Ética de la Investigación del Instituto para Niños Ciegos y Sordos del Valle del Cauca (Comité de Ética de la Investigación INCS)

bajo la Solicitud No. INV-2020-007, del 30 de junio de 2020, y realizada de acuerdo con las resoluciones 8430 (1994) y 2378 (2008) del Ministerio de Salud y Protección Social de Colombia. En el futuro, estas pruebas y ajustes permitirán perfeccionar el sistema, ampliando su aplicabilidad a escenarios más diversos.

6.1.3. Procedimiento

Se visitó el INCS para la ejecución de las pruebas en campo, utilizando gafas Meta Quest 2 como dispositivo de ejecución del prototipo en su modalidad autónoma. Se realizó la instalación de la aplicación en las gafas y, posteriormente, se condujeron pruebas observacionales en las que únicamente el niño veía el juego, mientras el equipo evaluaba el avance por medio de los audios y señales emitidas por el visor, sin proyección externa ni ayuda visual para los observadores.

Participaron dos niñas: una de 8 años con discapacidad y otra de 9 años con condición de poco desarrollo de lectura y audiovisual. Ambas realizaron la experiencia de principio a fin, cada una probando el juego una sola vez. Además, dos profesionales del INCS participaron en la validación, probando el prototipo y brindando retroalimentación experta. No se contó con disponibilidad de más niños dada la dificultad de la realización de las pruebas en el contexto institucional.

Este enfoque permitió analizar si el niño completaba el juego guiándose por las instrucciones auditivas y la narrativa, y observar patrones de interacción y comprensión sin influencia del observador.

6.2. Validación de Requisitos

Se valida el cumplimiento de los requisitos funcionales (RF) y no funcionales (RNF) definidos en la sección 4.3.2 mediante observación directa y validación con el usuario o profesional durante la sesión de prueba.

6.2.1. Requisitos Funcionales

Cuadro 6.1: Validación de Requisitos Funcionales

RF	Nombre	Validación (Observación/Usuario/Profesional)
RF-01	Menú de inicio en VR	Se observa si el usuario comprende y navega el menú inicial sin ayuda. Validación con usuario y profesional.
RF-02	Selector de dificultad	Se observa si el usuario puede elegir el nivel de dificultad. Validación con usuario y profesional.
RF-03	Narrativa con audio y subtítulos	Se verifica si el usuario comprende la historia a través de audio y subtítulos. Validación con usuario y profesional.
RF-04	Preguntas contextuales previas a minijuegos	Se observa si el usuario responde correctamente a las preguntas antes de los minijuegos. Validación con usuario y profesional.
RF-05	Guía audiovisual para minijuegos	Se observa si el usuario comprende la guía antes de cada minijuego. Validación con usuario y profesional.

6.2.2. Requisitos No Funcionales

Cuadro 6.2: Validación de Requisitos No Funcionales

RNF	Nombre	Validación (Observación/Usuario/Profesional)
RNF-01	Contraste visual	Se observa si los usuarios distinguen claramente los elementos visuales. Validación con usuario y profesional.
RNF-02	Rendimiento (\geq 30 FPS)	Se observa fluidez y ausencia de interrupciones durante la sesión. Validación con profesional.
RNF-03	Indicadores y guías visibles	Se observa si los usuarios identifican y siguen los indicadores y guías. Validación con usuario y profesional.
RNF-04	Colisiones invisibles	Se observa si el usuario no puede acceder a zonas no permitidas. Validación con profesional.
RNF-05	Compatibilidad Meta Quest 3	Se verifica ejecución estable en el dispositivo objetivo. Validación con profesional.

6.3. Ejecución de las Pruebas

A continuación se presentan imágenes ilustrativas de la ejecución de las pruebas en el INCS, mostrando la interacción de los usuarios y el acompañamiento de los profesionales.



Figura 6.1: PRUEBA 1: Usuario interactuando con el prototipo bajo observación del equipo y profesionales.



Figura 6.2: PRUEBA 2: Usuario realizando una de las actividades del prototipo.



Figura 6.3: PRUEBA 3: Usuario completando un minijuego, acompañado por profesionales del INCS.

6.4. Resultados de las Pruebas

6.4.1. Encuesta a profesionales

A continuación se presentan los resultados de la encuesta aplicada a los profesionales del INCS:

Cual es la utilidad de esta aplicación para el instituto?

2 respuestas

Evaluar el nivel de seguimiento a instrucciones en los niños, coordinación, acercarlos al uso de las tecnologías.

Es una herramienta que permite trabajar aspectos didácticos y conceptuales sobre los cuentos de los animales y la interacción permite vivenciar la situación

Figura 6.4: R1: ¿Cuál es la utilidad de esta aplicación para el instituto? ¿Cómo la utilizaría?

Que facilidades o dificultades encontró al utilizar la app?

2 respuestas

Facilidades: instrucciones por voz, tutoriales en video para cada actividad, sonidos muy acertados que acompañan cada actividad y el storytelling.

Dificultades: no se veía qué botón se debe oprimir en los hapticos, se vuelve un poco repetitivo qué las instrucciones sean obligatorias, podrían optar por poner la opción de skip o que al inicio salga si es primera vez que se juega o ya se ha jugado.

Aunque en herramienta se entiende las instrucciones, hay que realizar algunas precisiones frente las indicaciones del manejo del control

Figura 6.5: R2: ¿Qué facilidades o dificultades encontró al utilizar la app?

Cómo la utilizaría?

2 respuestas

Para el tema de acercar a los niños al uso de las tecnologías (desde mi profesión (ingeniería) sería lo más útil)

Sería un complemento frente a la comprensión del cuento por parte de los niños

Figura 6.6: R3: ¿Qué tan útil encuentra la aplicación?

Que tan útil encuentra la aplicación?

2 respuestas

Muy útil para las terapeutas del instituto, para darle vida a los cuentos y para acercar a los niños a las tecnologías de forma dinámica.

La principal utilidad es complementar la didácticamente el contexto del cuento

Figura 6.7: R4: ¿Qué le cambiaría a la aplicación?

Que le cambiaría a la aplicación?

2 respuestas

Lo que mencione en dificultades

Hacer más claras las instrucciones para los niños

Figura 6.8: R5: Comentarios adicionales de los profesionales.

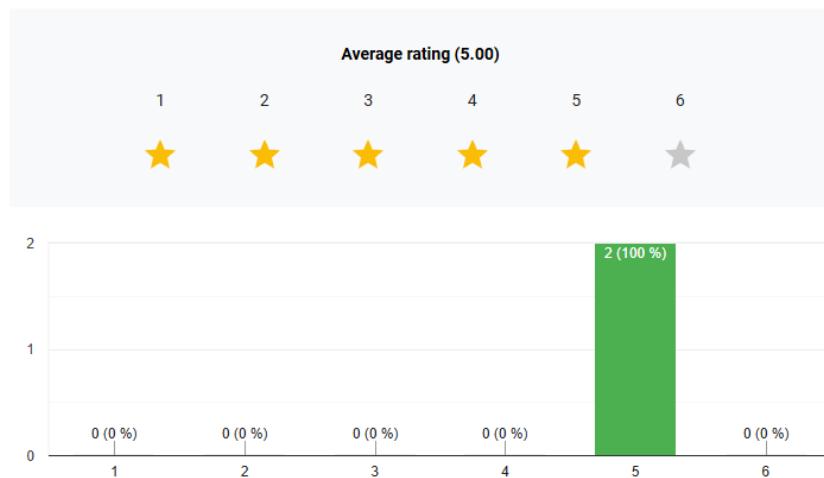


Figura 6.9: R6: Califique de 1 a 6 la aplicación.

6.4.2. Encuesta a niñas y niños

A continuación se presentan los resultados de la encuesta aplicada a los niños y niñas participantes:

Te gustó?

2 respuestas

● Sí
● No



Figura 6.10: U1: Resultados de la pregunta “¿Te gustó?”

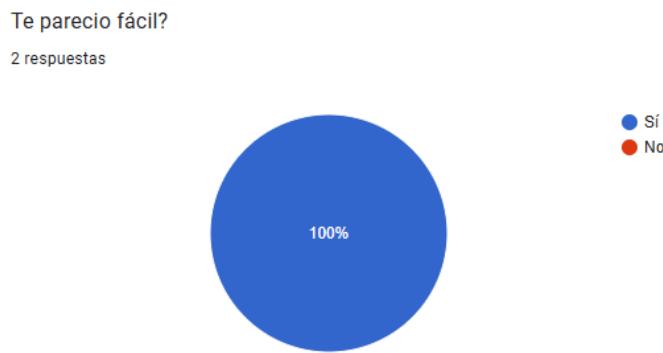


Figura 6.11: U2: Resultados de la pregunta “¿Te pareció fácil?”

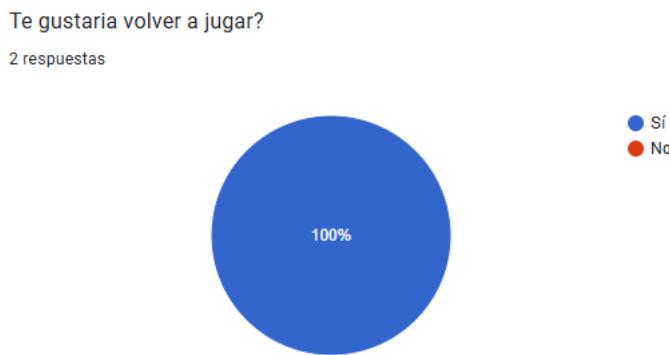


Figura 6.12: U3: Resultados de la pregunta “¿Te gustaría volver a jugar?”

6.4.3. Enlaces a formularios de encuesta

A continuación se presentan los enlaces a los formularios utilizados para la recolección de datos de las encuestas aplicadas:

- **Formulario para profesionales:** <https://docs.google.com/forms/d/e/1FAIpQLSfbVviewform?usp=sharing&ouid=107011505231446676975>
- **Formulario para niñas y niños:** <https://docs.google.com/forms/d/e/1FAIpQLSfetviewform?usp=sharing&ouid=107011505231446676975>

6.5. Análisis de resultados: Encuesta a niñas y niños

El análisis detallado de las sesiones, basado en las observaciones registradas durante las pruebas, permite identificar fortalezas y retos en la experiencia de los niños:

Usuario 1 (8 años, escolaridad: 1º de primaria, discapacidad general):

- Inició el juego sin dificultades y comprendió el primer tutorial rápidamente.
- Seleccionó correctamente la primera pregunta y avanzó al segundo minijuego, donde presentó algunas dificultades técnicas: avanzó a la zona del agua imposibilitando avanzar el juego, pero logró completarlo tras un segundo intento rápidamente.
- En el tercer minijuego, respondió correctamente a la primera oportunidad y completó el juego poniéndose las gafas del oso.
- En general, mostró comprensión de las instrucciones y capacidad para superar los retos, aunque requirió apoyo técnico puntual.

Usuario 2 (9 años, poco desarrollo de la lectura y compresión audiovisual):

- Presentó dificultades iniciales para interactuar con la pata del oso y para seleccionar opciones, aunque leyó bien las instrucciones.
- Tuvo retos para escalar y encontrar los objetos requeridos, pero logró completar el minijuego del agua y respondió correctamente la tercera pregunta en el primer intento.
- Mostró emociones intensas durante la experiencia, incluyendo susto al interactuar con el pez y emoción al completar los retos.
- A pesar de las dificultades motrices y de comprensión, finalizó el juego y expresó satisfacción con la experiencia.

Ambas niñas lograron completar la experiencia, enfrentando y superando retos propios de los minijuegos descritos en las secciones 5.6, 5.7, 5.8, 5.9, lo que evidencia la accesibilidad y el potencial pedagógico del prototipo. Las observaciones sugieren que la narrativa y las mecánicas de juego son comprensibles, aunque existen oportunidades de mejora en la claridad de las instrucciones y la accesibilidad motriz.

6.6. Análisis de resultados: Encuesta a profesionales

Los dos profesionales del INCS que participaron en la validación ofrecieron retroalimentación detallada tanto en la encuesta como en la observación directa:

- **Utilidad y aplicación:** Consideran que la aplicación es útil para el instituto, ya que permite trabajar habilidades cognitivas, motrices y emocionales en un entorno seguro y motivador. Destacan la posibilidad de adaptar la experiencia a diferentes niveles de dificultad y necesidades de los niños.
- **Facilidades y dificultades:** Señalan como fortalezas la claridad de la narrativa, la integración de audio y subtítulos, y la estructura modular de los minijuegos (ver sección 5). Sin embargo, identifican dificultades en la precisión de algunas interacciones, como la

referencia a la “pata” del oso (sugiriendo cambiar por “mano extendida”), la indicación de botones (proponer indicar el dedo específico), y la visualización de algunos objetos (por ejemplo, el vaso se ve borroso).

- **Sugerencias de mejora:** Recomiendan ajustar los límites de movimiento para evitar que el usuario quede debajo de la tierra, mejorar la visibilidad de ciertos elementos y refinar las instrucciones para facilitar la comprensión y la interacción, especialmente en niños con dificultades motrices o sensoriales.
- **Calificación y valoración general:** La aplicación fue calificada positivamente, destacando su potencial para ser usada en sesiones terapéuticas y educativas, y su capacidad para motivar a los niños a través de la gamificación y la narrativa.

Las respuestas de los profesionales reflejan una valoración favorable del prototipo, reconociendo su impacto pedagógico y terapéutico, así como áreas de mejora que serán consideradas en futuras iteraciones.

Capítulo 7

Conclusiones

La implementación de la metodología Kanban fue un factor clave para la entrega exitosa de este proyecto. A diferencia de otras metodologías estudiadas durante la carrera, Kanban destacó por su flexibilidad y la capacidad de visualizar el flujo de trabajo de manera clara, lo que facilitó la gestión de tareas en un equipo pequeño. Esta metodología permitió realizar ajustes necesarios de forma ágil durante el desarrollo, integrando las validaciones y sugerencias surgidas tanto en las reuniones con los profesionales del INCS como en la experiencia de validación temprana en XR Academy, tal como se detalla en la sección 4.1.

En cuanto a la selección de tecnologías, Unity demostró ser la herramienta idónea gracias a su robusto ecosistema y la disponibilidad de librerías especializadas como XR Interaction Toolkit, que facilitaron la creación de interacciones complejas en realidad virtual (ver sección 4.3.4). Por su parte, la elección de Meta Quest como plataforma de hardware fue fundamental, ya que su capacidad para ejecutar programas de forma nativa y la portabilidad entre las diferentes series de gafas aseguraron que el prototipo fuera accesible y fácil de desplegar en el entorno del instituto.

Entre las principales dificultades del proyecto se encontró la optimización del entorno virtual. Dado que el objetivo era una aplicación nativa para un dispositivo móvil como las Meta Quest, fue necesario realizar recortes significativos en modelos y aplicar técnicas de optimización para mantener un rendimiento fluido, como se explica en la sección 4.5.3. Adicionalmente, otro reto técnico considerable fue lograr que el modelo del oso de anteojos se ajustara correctamente a los movimientos del jugador para generar la ilusión de "Body Transfer". Esto requirió la implementación de algoritmos de cinemática inversa y técnicas de ajuste de posición descritas en la sección 5.3.

Este proyecto permitió trascender el enfoque tradicional de desarrollo de videojuegos centrado en el usuario estándar, para considerar las necesidades de usuarios con diversas condiciones sensoriales. Se puso un énfasis especial en la adaptación de la historia, trabajando de la mano con los profesionales del INCS (ver sección 4.4.2), y en el diseño de actividades que fueran accesibles y disfrutables para todos. Los resultados obtenidos, presentados en la sección 6.4, validan que este enfoque inclusivo no solo es viable, sino que genera un impacto positivo en la experiencia educativa de los niños.

Finalmente, este trabajo de grado representó una gran oportunidad para trabajar en un área del conocimiento distinta a la ingeniería pura, fomentando un pensamiento no tradicional en pro de una población con acceso limitado a recursos tecnológicos académicos y lúdicos. Además de aplicar los conocimientos técnicos adquiridos durante la carrera, el proyecto contribuyó significativamente al fortalecimiento de las habilidades blandas necesarias en el mundo del desarrollo de software, como la comunicación interdisciplinaria y la adaptabilidad.

Capítulo 8

Trabajo Futuro

El desarrollo del prototipo ha permitido identificar diversas oportunidades de mejora y expansión que potenciarían su impacto educativo y terapéutico. A continuación, se presentan las líneas de trabajo futuro propuestas:

8.1. Expansión de la Narrativa: Transformación en Pez

Se propone extender la experiencia inmersiva implementando una sección donde el usuario pueda transformarse en el pez. Actualmente, la narrativa descrita en la sección 4.4.2 contempla que el pez recupera las gafas, pero esta acción es observada por el usuario. Permitir que el niño asuma el rol del pez y navegue bajo el agua para recuperar las gafas diversificaría las mecánicas de juego y reforzaría la conexión con los personajes.

8.2. Accesibilidad Auditiva en Interacciones

Para mejorar la accesibilidad en los minijuegos de preguntas (ver sección 5.6), se plantea agregar retroalimentación auditiva inmediata al interactuar con las opciones de respuesta. Específicamente, se busca que el sistema reproduzca el audio correspondiente a la opción (texto o imagen) cuando el usuario pase su mano o puntero sobre ella, facilitando la comprensión para niños con dificultades de lectura o visión reducida antes de confirmar su selección.

8.3. Sistema de Registro y Métricas de Rehabilitación

Aunque el prototipo actual permite la ejecución de actividades, se identifica la necesidad de implementar un sistema robusto de almacenamiento de datos. El trabajo futuro incluye el desarrollo de una base de datos local o en la nube para registrar el progreso de cada niño,

almacenando variables como tiempos de respuesta, número de intentos y decisiones tomadas. A partir de estos datos, se generarán métricas e informes que permitan a los profesionales del INCS evaluar la evolución en la rehabilitación y el aprendizaje de los usuarios a lo largo de múltiples sesiones.

8.4. Mejoras Técnicas: Body Transfer y Hand Tracking

En el aspecto técnico, se busca incrementar el realismo de la mecánica de “Body Transfer” detallada en la sección 5.3. Esto implica refinar los algoritmos de cinemática inversa (IK) para que los movimientos del avatar del oso sean más fluidos y naturales, mejorando la sensación de presencia. Adicionalmente, se propone integrar la compatibilidad con el seguimiento de manos (*Hand Tracking*) nativo de las gafas Meta Quest (mencionado en 4.3.4). Esto permitiría a los niños interactuar con el entorno virtual utilizando sus propias manos sin necesidad de controladores, eliminando barreras de entrada para aquellos con dificultades motrices finas para sostener los mandos.

Bibliografía

- [1] “Biodiversidad de Colombia en cifras 2022 - SiB Colombia — biodiversidad.co,” <https://biodiversidad.co/post/2022/biodiversidad-colombia-cifras-2022/>, 2022, [Accessed 01-02-2025].
- [2] “Tráfico ilegal - Secretaría Distrital de Ambiente — ambientebogota.gov.co,” <https://www.ambientebogota.gov.co/trafico-ilegal>, [Accessed 01-02-2025].
- [3] “WCS LANZA SU CAMPAÑA ‘HAY VIAJES QUE MARCAN VIDAS’, CON LA QUE BUSCA SENSIBILIZAR SOBRE EL TRÁFICO DE FAUNA SILVESTRE EN AEROPUERTOS — colombia.wcs.org,” <https://colombia.wcs.org/es-es/WCS-Colombia/Noticias/articleType/ArticleView/articleId/23455/WCS-LANZA-SU-CAMPANA-HAY-VIAJES-QUE-MARCAN-VIDAS-CON-LA-QUE-BUSCAR-SOBRE-EL-TRAFICO-DE-FAUNA-SILVESTRE-EN-AEROPUERTOS.aspx>, [Accessed 02-02-2025].
- [4] O. Mujeres, UNFPA, and UNICEF, “Análisis de la situación de las personas con discapacidad en Colombia 2021,” <https://colombia.unwomen.org/sites/default/files/2022-05/Discapacidad.pdf>, 2021, [Accessed 01-02-2025].
- [5] G. Restrepo, E. C. Prakash, S. E. Dashti, A. D. Castillo S., J. Gómez, L. Oviedo, J. Floyd, J. Aycardi, J. Trejos, J. González, M. V. Sierra, and A. A. Navarro-Newball, “Extended realities for sensorially diverse children,” 10.1109/MCG.2024.3419699, pp. 26–39, 2024, [Accessed 01-02-2025].
- [6] A. A. Navarro-Newball, “Realidades expandidas inteligentes para la innovación en la cultura digital,” <https://doi.org/10.25267/Periferica.2023.i24.12>, pp. 128–141, ene. 2024, [Accessed 01-02-2025].
- [7] M. Farshid, J. Paschen, T. Eriksson, and J. Kietzmann, “Go boldly!: Explore augmented reality (ar), virtual reality (vr), and mixed reality (mr) for business,” <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S000768131830079X>, pp. 657–663, 2018, [Accessed 01-02-2025].
- [8] G. Yildirim, M. Elban, and S. Yildirim, “Analysis of use of virtual reality technologies in history education: A case study,” pp. 62–69, Jun. 2018, [Accessed 01-02-2025].
- [9] J. Zheng, K. Chan, and I. Gibson, “Virtual reality,” pp. 20–23, 1998, [Accessed 01-02-2025].
- [10] J. L. Orihuela, “Narraciones interactivas: el futuro no lineal de los relatos en la era digital,” <https://palabraclave.unisabana.edu.co/index.php/palabraclave/article/view/338>, 2009.

- [11] M. Slater, B. Spanlang, M. V. Sanchez-Vives, and O. Blanke, “First person experience of body transfer in virtual reality,” <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0010564>, pp. 1–9, 05 2010.
- [12] O. A. K. Shavab, L. Yulifar, N. Supriatna, and A. Mulyana, “Gamification in history learning: A literature review,” <https://doi.org/10.2991/assehr.k.210918.047>, pp. 254–258, 2021.
- [13] K. University, “The Official Guide to The Kanban Method,” https://kanban.university/wp-content/uploads/2024/03/The-Official-Kanban-Guide_Spanish.pdf, 3 2024.
- [14] C. J. Mills, D. Tracey, R. Kiddle, and R. Gorkin, “Evaluating a virtual reality sensory room for adults with disabilities,” <https://doi.org/10.1038/s41598-022-26100-6>, 1 2023.
- [15] W. Maqableh, J. Zraqou, A. Alnuaimi, and A. Al-Shurman, “Adoption of Virtual Reality Technology in Learning Elementary of Music Theory to Enhance the Learning Outcomes of Students with Disabilities,” <https://doi.org/10.29333/iji.2024.1733a>, pp. 37–60, 6 2024.
- [16] H. Y. G. Pardo, D. M. B. Arandia, and Y. L. G. Mateus, “evaluación educativa vista desde el racionalismo y el empirismo,” <https://doi.org/10.48204/j.are.n50.a6541>, pp. 27–45, 12 2024.
- [17] N. Kirovska and S. Koceski, “Usage of kanban methodology at software development teams,” 2015. [Online]. Available: <http://www.aebjournal.org/article030302.php>
- [18] D. J. Anderson and Associates. (2021) Revisiting the principles and general practices of the kanban method. [Online]. Available: <https://djaa.com/revisiting-the-principles-and-general-practices-of-the-kanban-method/>
- [19] “Crear experiencias de realidad virtual con Unity.” [Online]. Available: <https://unity.com/es/solutions/vr>
- [20] “Museo de Historia Natural - Universidad Nacional de Colombia.” [Online]. Available: https://historianatural.unal.edu.co/expo1/oso_eng.html
- [21] M. Del Castillo Sabogal, G. J. Peña Castañeda, and L. M. Correa Barrera, “Baja visión y entorno escolar,” Bogotá D.C., Colombia, 2024, ISBN 978-958-8257-30-3. [Online]. Available: <https://www.inci.gov.co/sites/default/files/Cartilla%20Baja%20Vision%20en%20entorno%20escolar%20ACCESIBLE%202024.pdf>