

Pontificia Universidad Javeriana Cali
Facultad de Ingeniería y Ciencias.
Ingeniería de Sistemas y Computación.
Proyecto de Grado.

Experiencia Inmersiva Basada en un Cuento Infantil que Favorece el Desarrollo del Lenguaje en los Niños con Diversidad Auditiva y Visual

David Alejandro Salazar Zuleta
Jeysa Nahara Blandon Martinez

Director: Dr. Andrés Adolfo Navarro Newball

19 de Mayo del 2026



Resumen

En este proyecto se plantea el desarrollo de un prototipo interactivo en realidad virtual basado en el cuento *“El cóndor que aprendió a volar”*, orientado a ofrecer una experiencia inmersiva accesible para niños con diversidad sensorial auditiva y visual. El propósito es la participación y el aprendizaje mediante el uso de herramientas inmersivas. El diseño y la implementación del prototipo, junto con la evaluación de su usabilidad y accesibilidad, se realizó mediante el acompañamiento de los profesionales del Instituto para Niños Ciegos y Sordos del Valle del Cauca.

Palabras claves: Diversidad sensorial, Realidad virtual, Narrativa en la educación, Educación inclusiva, tecnologías educativas

Abstract

This project presents the development of an interactive virtual reality prototype based on the story “*El cóndor que aprendió a volar*”, designed to provide an accessible immersive experience for children with auditory and visual sensory diversity. The purpose of the project is participation and learning through the use of immersive technologies. The design and implementation of the prototype, along with the evaluation of its usability and accessibility, were conducted with the support of professionals from the Institute for Blind and Deaf Children of Valle del Cauca.

Keywords: Sensory diversity, Virtual reality, Narrative in education, Inclusive education, Educational technologies

Índice general

1. Descripción del Problema	11
1.1. Planteamiento del Problema	11
1.1.1. Formulación	12
1.1.2. Sistematización	12
1.2. Objetivos	13
1.2.1. Objetivo General	13
1.2.2. Objetivos Específicos	13
1.3. Resultados Obtenidos	13
1.4. Alcances	13
1.5. Justificación	14
1.5.1. Utilidad	14
1.5.2. Impacto	14
1.5.3. Viabilidad	14
2. Desarrollo del Proyecto	15
2.1. Marco de Referencia	15
2.1.1. Marco Teórico	15
2.1.1.1. Educación Inclusiva:	15
2.1.1.2. Discapacidad Auditiva y Visual:	15
2.1.1.3. Tecnologías Digitales para la Educación:	16
2.1.1.4. Narrativa como recurso pedagógico:	16
2.1.1.5. Herramientas Digitales Interactivas:	16
2.1.1.6. Accesibilidad Tecnológica:	16
2.1.1.7. Realidad Virtual:	16
2.1.1.8. Gamificación:	17
2.1.2. Trabajos Relacionados	17
2.1.2.1. Videojuego hipermedia, estímulos sonoros para adultos ciegos	17
2.1.2.2. Virtual reality games for spatial hearing training in children and young people with bilateral cochlear implants: the “Both Ears (BEARS)” approach	17
2.1.2.3. ColaboraFari VR. Creación de un entorno virtual colaborativo por medio de un safari para fomentar el aprendizaje sobre los animales en vía de extinción en Colombia	18
2.1.2.4. Extended Realities for Sensorially Diverse Children	18
2.1.2.5. Discusión	18

3. Metodología, Análisis y Diseño	20
3.1. Metodología	20
3.1.1. Metodología SCRUM	20
3.1.2. Herramientas y Recursos Técnicos	20
3.1.3. Plan de actividades del proyecto	21
3.1.4. Aplicación de SCRUM en el Proyecto	22
3.2. Análisis	23
3.2.1. Tipo de estudio	23
3.2.2. Tipo de usuario	23
3.2.3. Objetivos pedagógicos	23
3.2.4. Realidad virtual como herramienta para el aprendizaje	24
3.2.4.1. Ventajas	25
3.2.4.2. Desventajas y Mitigación	25
3.2.5. El cóndor andino como especie en peligro de extinción	25
3.2.6. Actores del Sistema	26
3.2.7. Identificación de actividades para el juego	26
3.2.8. Educción de requisitos	28
3.2.8.1. Requisitos Funcionales (RF)	28
3.2.8.2. Requisitos No Funcionales (RNF)	28
3.2.8.3. Criterios de éxito	29
3.3. Diseño	30
3.3.1. Diagrama de Casos de Uso	30
3.3.2. Diagrama de Flujo	31
3.3.3. Diagrama de Máquina de Estados Finito	32
3.3.4. Mecánica del Juego	32
3.3.5. Narrativa	33
3.3.6. Diálogos del Prototipo	33
3.3.7. Diseño de la interfaz	33
3.3.8. Diseño de Entorno	38
3.3.9. Diseño Visual	39
3.3.10. Animaciones	42
4. Implementación	45
4.1. Herramientas de Desarrollo	45
4.1.1. Unity	45
4.1.2. Meta Quest 3S	45
4.1.3. Blender	46
4.2. Implementación del Cóndor	46
4.2.1. Integración de narraciones y diálogos	46
4.2.2. Uso de la cámara	46
4.2.3. Estructura del modelo del cóndor	47

4.2.4. Implementación de animaciones	48
4.3. Manejo de escenas	49
4.3.1. Menú inicial y ajustes	50
4.3.2. Escenas tipo cinemática	51
4.3.3. Escenas tipo cinemáticas interactivas	51
4.3.4. Escenas tipo minijuego	52
4.4. Tipo de movimientos	53
4.5. Audio del prototipo	53
5. Pruebas y Resultados	55
5.1. Plan de Pruebas	55
5.1.1. Alcance y Objetivos de las Pruebas	55
5.1.2. Procedimiento	56
5.2. Validación de Requisitos	56
5.2.1. Requisitos Funcionales	57
5.2.2. Requisitos No Funcionales	57
5.3. Ejecución de las Pruebas	59
5.4. Resultados de las Pruebas	60
5.4.1. Resultados Cuantitativos – Encuesta a Profesionales	60
5.4.2. Resultados Cualitativos – Aspectos Positivos Destacados	61
5.4.3. Resultados Cualitativos – Aspectos a Mejorar	61
5.4.4. Valoración General de la Experiencia como Apoyo Educativo	62
5.5. Análisis de Resultados	62
6. Conclusiones y Trabajo Futuro	64
6.1. Conclusiones	64
6.2. Trabajo Futuro	64
Bibliografía	66
Anexos	69
Anexo A. Historial de Sprints	69
Anexo B. Diálogos del Prototipo	69
Anexo C. Storyboard	69
Anexo D. Comparación Visual del Diseño	69
Anexo E. Formulario Profesionales	70

Introducción

En la actualidad, la integración de tecnologías digitales en los entornos educativos ha permitido la creación de experiencias de aprendizaje más dinámicas e inclusivas. Sin embargo, los niños con diversidad sensorial auditiva y visual aún enfrentan barreras significativas para acceder a recursos interactivos diseñados específicamente para sus necesidades. La realidad virtual (RV) se considera como una herramienta capaz de generar entornos inmersivos que promueven la estimulación de múltiples sentidos, convirtiéndose en una alternativa innovadora para apoyar los procesos educativos de la población con diversidad sensorial.

El presente proyecto propone el uso de la realidad virtual (RV) como medio principal para diseñar e implementar un prototipo interactivo basado en el cuento *“El cóndor que aprendió a volar”*, cuyo propósito es ofrecer una experiencia inmersiva accesible para niños con diversidad sensorial auditiva y visual. Mediante la integración de tecnologías digitales se busca crear un entorno virtual inclusivo que combine narrativa, interacción y accesibilidad.

Para desarrollar este prototipo se contemplaron las etapas de diseño, implementación y evaluaciones técnica, realizadas en conjunto con los profesionales del Instituto para Niños Ciegos y Sordos del Valle del Cauca, quienes validaron su pertinencia en relación con las necesidades de esta población. De esta manera, el proyecto no solo representa una aplicación práctica de tecnologías inmersivas, sino también un aporte al diseño de recursos tecnológicos inclusivos que promuevan la igualdad de acceso a las experiencias digitales y educativas.

Descripción del Problema

1.1. Planteamiento del Problema

De acuerdo con la Organización Mundial de la Salud (OMS), al menos 2.200 millones de personas viven con algún tipo de discapacidad visual y alrededor de 430 millones padecen pérdida auditiva, de los cuales 34 millones son niños [1], [2]. Estas condiciones afectan directamente el desarrollo infantil, ya que la comunicación y el aprendizaje en esta etapa son fundamentales para su futuro, y cuando un niño no escucha o no ve adecuadamente, el proceso educativo se ve limitado. A nivel nacional, el Censo de Población y Vivienda 2018 reportó que en Colombia 3.134.036 personas (7,1 % de la población) tienen alguna discapacidad, entre ellas 1.948.332 con discapacidad visual (4,41 %) y, según la Encuesta de Calidad de Vida 2021, hay un total de 459.783 personas sordas [3], [4].

En el ámbito educativo, el Sistema SIMAT del Instituto Nacional para Sordos registró en 2025 solo 8.899 estudiantes con discapacidad auditiva matriculados en el sistema educativo oficial [5]. Estas cifras reflejan la magnitud de la población afectada a nivel nacional y evidencian la urgencia de implementar estrategias inclusivas que respondan a sus necesidades educativas. En este contexto, la ausencia de tecnologías educativas adaptadas como materiales digitales accesibles, recursos en braille, intérpretes en línea o entornos virtuales inclusivos, constituye un obstáculo que profundiza las brechas de aprendizaje. Esta situación demuestra que, más allá de las cifras, el verdadero desafío está en garantizar que los niños con diversidad sensorial auditivas y visuales accedan a contenidos pedagógicos y estrategias de enseñanza diseñadas para sus necesidades.

En el ámbito local, el Censo 2018 en Santiago de Cali indicó que existen 35.634 personas con dificultades auditivas, de los cuales 2.865 no pueden oír, 12.519 presentan mayor dificultad auditiva y 20.250 tienen problemas al percibir sonidos, así como 18.088 personas con discapacidad visual (11,42 % de la población) [6], [7]. Aunque no se han encontrado estadísticas específicas sobre discapacidad infantil en la ciudad, en el Valle del Cauca opera el Instituto para Niños Ciegos y Sordos del Valle del Cauca, el cual ha acompañado a más de 7.200 niños y familias en procesos de rehabilitación, salud y educación adaptada [8]. No obstante, la falta de información concreta sobre la niñez con estas condiciones revela una baja priorización, lo que limita la creación de recursos adecuados. De allí surge la necesidad de impulsar proyectos tecnológicos inclusivos, como la implementación de cuentos en realidad virtual, que permitan a estos niños acceder a experiencias de aprendizaje más interactivas, accesibles y significativas, reduciendo así las barreras educativas que aún persisten.

Por otro lado, existen diversas técnicas y avances tecnológicos que hacen posible la realización de este proyecto, al permitir que los niños con diversidad sensorial, tanto auditiva como visual, interactúen con videojuegos y entornos de realidad virtual mediante estímulos adaptados a sus capacidades. Por ejemplo, los niños con diversidad sensorial visual pueden recibir estímulos auditivos, como se muestra en [9], que les faciliten una experiencia inmersiva en realidad virtual ajustada a sus necesidades; mientras que, en el caso de los niños con diversidad sensorial auditiva, se pueden emplear estímulos visuales o hápticos que refuercen la interacción y la comprensión del entorno virtual.

En este sentido, este proyecto busca realizar una experiencia inmersiva mediante realidad virtual en la cual se recree una narrativa de un cuento llamado *“El cóndor que aprendió a volar”* cuya elección fue sugerida por los profesionales del instituto, ya que es uno de los 5 cuentos resultado del proyecto colaborativo Colombia-Quebec junto con la Pontificia Universidad Javeriana Cali. Además hace parte de uno de los tres cuentos que hacen falta por llevar al mundo virtual. Esta experiencia envolvente está orientada a niños entre los 5 y 12 años del Instituto para Niños Ciegos y Sordos del Valle del Cauca, con el propósito de favorecer su aprendizaje con acceso a contenido pedagógico adaptado, promoviendo procesos de aprendizaje que combinen la narrativa, lectura infantil y las tecnologías inclusivas e inmersivas.

1.1.1. Formulación

¿Cómo implementar una experiencia inmersiva basada en un cuento infantil, haciendo uso de herramientas basadas en realidad virtual, con el fin de favorecer el desarrollo del lenguaje de los niños de 5 a 12 años con diversidad sensorial auditiva y visual de una manera accesible y entretenida?

1.1.2. Sistematización

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

- ¿Cómo adaptar el contenido narrativo del cuento *“El cóndor que aprendió a volar”* a un sistema interactivo y accesible que permita integrarse a la realidad virtual?
- ¿Cómo estructurar la experiencia inmersiva del cuento para que facilite su representación en realidad virtual para niños con diversidad sensorial auditiva y visual?
- ¿Cómo implementar el prototipo de una experiencia inmersiva en realidad virtual, favoreciendo la accesibilidad para los niños con diversidad sensorial auditiva y visual?
- ¿De qué manera se puede evaluar la usabilidad y accesibilidad de la experiencia inmersiva basada en el cuento infantil?

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo General

Desarrollar una experiencia inmersiva en realidad virtual basada en el cuento infantil *“El cóndor que aprendió a volar”*, orientada a estimular el desarrollo del lenguaje en niños de 5 a 12 años con diversidad sensorial auditiva y visual, mediante recursos accesibles e interactivos.

1.2.2. Objetivos Específicos

1. Adaptar el contenido narrativo del cuento *“El cóndor que aprendió a volar”* a un sistema interactivo y accesible que permita integrarse a la realidad virtual.
2. Estructurar la experiencia inmersiva del cuento de manera que facilite su representación en un entorno de realidad virtual para niños con diversidad sensorial auditiva y visual.
3. Implementar el prototipo de una experiencia inmersiva en realidad virtual, favoreciendo la accesibilidad para los niños con diversidad sensorial auditiva y visual.
4. Evaluar la usabilidad y accesibilidad de la experiencia inmersiva basada en el cuento infantil.

1.3. Resultados Obtenidos

Se entregó un prototipo funcional del cuento *“El cóndor que aprendió a volar”* de forma interactiva en realidad virtual, diseñado bajo criterios de accesibilidad para niños con diversidad sensorial auditiva y visual, brindados por los profesionales del Instituto para Niños Ciego y Sordos del Valle del Cauca. El código fuente fue debidamente documentado, con el propósito de permitir su mantenimiento y futuras mejoras. Finalmente, el proyecto contribuye al fortalecimiento de la educación inclusiva y a la promoción de la innovación pedagógica mediante la integración de narrativa y realidad virtual como recurso educativo accesible.

1.4. Alcances

El presente proyecto se centra en el diseño y desarrollo de un prototipo iterativo basado en el cuento *“El cóndor que aprendió a volar”*, el cual fue implementado en un entorno de realidad virtual con el propósito de generar una experiencia inmersiva de carácter lúdico y educativo. Dicho alcance se basa en la construcción técnica y narrativa del prototipo, así como su validación inicial en un contexto controlado, sin contemplar la evaluación del impacto pedagógico, cognitivo o emocional del público objetivo.

La implementación se llevó a cabo tomando como base el proyecto colaborativo Colombia-Quebec, específicamente uno de los 5 cuentos creados por este proyecto, *“El cóndor que aprendió a volar”*, además se cuenta con aval ético, el consentimiento informado y la colaboración del Instituto

para Niños Ciegos y Sordos del Valle del Cauca, quienes proporcionarán el espacio para hacer la evaluación mediante los profesionales del instituto con el fin de garantizar la adecuada adaptación a las características de los niños.

En este sentido, el alcance se limita a la entrega del prototipo funcional y el código fuente correspondiente, la cual constituirá una base técnica que podrá servir como insumo para futuros proyectos o investigaciones en el ámbito educativo y de accesibilidad para niños con diversidad sensorial auditiva y visual.

1.5. Justificación

1.5.1. Utilidad

El proyecto plantea el desarrollo de una experiencia inmersiva en realidad virtual, que permita incluir a niños entre los 5 y 12 años con diversidad sensorial auditiva y visual. Permitiendo a los niños sentirse incluidos en ambientes como los videojuegos y la realidad virtual, en donde esta población puede llegar a sentirse excluida al haber pocas opciones de experiencias inmersivas que cumplan con sus necesidades.

1.5.2. Impacto

El impacto a largo plazo de este proyecto será significativo para los niños desde los 5 hasta los 12 años con diversidad sensorial auditiva y visual. El proyecto planteado apoyará en el aprendizaje de los niños con diversidad sensorial mientras concientiza sobre los animales en vía de extinción en Colombia, como el mono tití, el cóndor, el jaguar y el oso de anteojos. Pero además, busca que este aprendizaje y la concientización sea de una manera más divertida e inmersiva para los niños de esta población.

1.5.3. Viabilidad

El desarrollo de una experiencia inmersiva de realidad virtual es viable debido a la disponibilidad de tecnologías, herramientas y técnicas que permiten utilizar la realidad virtual para elaborar videojuegos, simuladores y experiencias con fines educativos y de entretenimiento. Además, el proyecto cuenta con el apoyo del Instituto para Niños Ciegos y Sordos del Valle del Cauca, entidad que acompañará tanto el proceso de desarrollo como la etapa de evaluación. La participación del instituto es fundamental, ya que no solo aporta experiencia al proyecto, sino también el contacto directo con la población objetivo, garantizando que el diseño cumpla efectivamente con las necesidades reales de los niños con diversidad sensorial auditiva y visual.

Desarrollo del Proyecto

2.1. Marco de Referencia

2.1.1. Marco Teórico

La realidad virtual se ha establecido como una herramienta tecnológica con un gran potencial en el ámbito educativo, debido a su capacidad para crear entornos inmersivos e interactivos que favorecen la comprensión de los contenidos y en la participación activa de los estudiantes. Su incorporación de elementos narrativos y lúdicos, permite promover el aprendizaje, el desarrollo de los valores y experiencias accesibles para todo tipo de poblaciones con diversas necesidades, incluso para los niños y jóvenes con visión y/o audición reducida, y fortalecer así los procesos de la inclusión educativa [10]. Para el presente proyecto se propone el desarrollo de un videojuego en RV adaptado de un cuento, orientado a ofrecer una experiencia interactiva que combine el aprendizaje y la narrativa. Para ello, es necesario abordar conceptos fundamentales que permitirán el desarrollo del proyecto.

2.1.1.1. Educación Inclusiva:

La educación inclusiva surge como un enfoque pedagógico y un derecho fundamental dentro de las políticas educativas a nivel mundial. Este enfoque se percibe no solo como estrategia didáctica, sino como acto de respeto ético hacia la diversidad humana, en el cual cada estudiante es valorado de manera integral y ética. Se reconoce por parte de los docentes que esto presenta un desafío pedagógico resultado por la falta de recursos y formación especializada [11]. Desde una perspectiva amplia, se busca atender la escasez de aprendizaje de todas las personas, promoviendo igualdad de oportunidades en contextos escolares.

2.1.1.2. Discapacidad Auditiva y Visual:

La visión y la audición son sentidos primordiales que permiten al ser humano interactuar con el entorno y acceder al conocimiento. Cuando estos sentidos se ven afectados, las implicaciones van más allá de lo sensorial, afectan profundamente en la forma en que se aprende y se comunica. Se reconoce que es necesario ajustar la educación a las particularidades sensoriales de cada individuo, considerando su contexto, capacidades y necesidades [12].

2.1.1.3. Tecnologías Digitales para la Educación:

El estudio [13] aborda cómo las tecnologías digitales impactan en el aprendizaje y la enseñanza en los contextos educativos, destacando la capacidad para potenciar los procesos pedagógicos. Los autores señalan que estas herramientas favorecen un enfoque más interactivo, personalizado y motivador, aunque advierten que su eficacia depende de ciertos factores como la preparación del docente, el acceso a recursos tecnológicos y conectividad.

Hay que resaltar que la tecnología educativa debe integrarse en los procesos didácticos, reconociendo cómo las tecnologías modifican la construcción del conocimiento. Dado que la inclusión digital incorpora no solo herramientas digitales, sino que mejora los propósitos y los contenidos pedagógicos.

2.1.1.4. Narrativa como recurso pedagógico:

La narrativa, como recurso pedagógico, se destaca por su capacidad para fortalecer la dimensión socio-afectiva de los niños, permitiéndoles expresar sus emociones, reflexionar sobre su entorno y construir su identidad. Permite a los niños tener la libertad para narrar su historia, contribuir a su transformación [14]. De esta forma, la narrativa se convierte en un recurso que potencia tanto su bienestar emocional como su sentido de pertenencia.

2.1.1.5. Herramientas Digitales Interactivas:

La incorporación de estas herramientas educativas digitales puede transformar la enseñanza hacia modelos más personalizados e interactivos. Los resultados de la aplicación de estos recursos digitales bien planificados “mejora significativamente el rendimiento académico y favorece entornos de aprendizaje más participativos y eficaces” [15]. Permitiendo una innovación pedagógica que potencia variables del aprendizaje, como la motivación, la participación y comprensión de contenidos.

2.1.1.6. Accesibilidad Tecnológica:

El artículo [16] resalta que los estudiantes valoran positivamente la disponibilidad de tecnologías adaptativas en plataformas educativas virtuales, ya que estas permiten acceder a los contenidos de forma más accesible y favorecen su participación activa en el proceso de aprendizaje. Por tanto, la accesibilidad tecnológica se define como tecnologías que pueden ser utilizadas por todas las personas, incluidas aquellas con discapacidad.

2.1.1.7. Realidad Virtual:

La realidad virtual (RV) crea entornos inmersivos mediante tecnología informática, permitiendo al usuario una experiencia multisensorial simulada mediante dispositivos como cascos o gafas y controles que permiten una mejor interacción sensorial con el mundo virtual. El artículo [17] enfatiza que la RV se consolida como una herramienta que supera las limitaciones del aula tradicional y ofrece nuevas formas de enseñanza y aprendizaje, promoviendo metodologías educativas innovadoras.

2.1.1.8. Gamificación:

Según el artículo [18] la gamificación se define como una estrategia educativa innovadora que integra elementos, dinámicas y mecánicas propias de los juegos en entornos de aprendizaje con el fin de motivar y comprometer a los estudiantes en procesos educativos. Esta estrategia, combinada con inteligencia artificial, permite adaptar las actividades a los ritmos y estilos de aprendizaje de cada niño, fortaleciendo tanto su atención como su motivación.

2.1.2. Trabajos Relacionados

2.1.2.1. Videojuego hipermedia, estímulos sonoros para adultos ciegos

En este artículo publicado en la revista VMIDEA [9] se explora la creación de un videojuego que emplea estímulos auditivos como eje central para la interacción con personas adultas con diversidad sensorial visual, con el fin de ofrecer una experiencia accesible adaptada a las necesidades de personas con dificultades visuales. En la revista se destaca la importancia de considerar la accesibilidad e inclusión de las personas con discapacidades sensoriales en el ámbito del entretenimiento, más específicamente los videojuegos.

Los avances mencionados tienen relación directa con el proyecto planteado, ya que su propósito es aprovechar sentidos como el oído, el tacto e incluso el olfato para ofrecer a las personas con discapacidad visual una experiencia inmersiva. De esta manera, el usuario no depende exclusivamente de la visión para interactuar con el entorno, sino que se involucra activamente a través de estímulos multisensoriales.

2.1.2.2. Virtual reality games for spatial hearing training in children and young people with bilateral cochlear implants: the “Both Ears (BEARS)” approach

En este trabajo se elaboró un videojuego de realidad virtual para mejorar la audición espacial de los niños con implantes cocleares bilaterales, puesto que “a medida que mejoran las capacidades auditivas, esto debería desarrollar la construcción del conocimiento del mundo, aumentando la autoconfianza y el desarrollo socioemocional (es decir, mejorar la experiencia, la expresión, el manejo de las emociones y la capacidad de establecer relaciones positivas con los demás)” [19]. El videojuego de realidad BEARS consta de 3 minijuegos, en el primero el usuario debe localizar de donde provienen los sonidos, el segundo se trata de una cafetería donde el usuario debe escuchar el pedido y entregarlo y por último en el tercero el usuario debe distinguir entre distintos tonos e instrumentos del entorno.

Este trabajo guarda una relación estrecha con el proyecto planteado, ya que, se busca darle una inmersión por medio de la realidad virtual al usuario, con el propósito de favorecer la inclusión a personas con discapacidad auditiva. Mientras que BEARS se orienta en mejorar la audición espacial de niños con implantes cocleares bilaterales a través de actividades de entrenamiento auditivo, el proyecto propuesto busca ampliar ese enfoque hacia la participación activa de los niños con

discapacidad auditiva en los videojuegos, de manera que, contribuya al desarrollo de la confianza y el aprendizaje.

2.1.2.3. ColaboraFari VR. Creación de un entorno virtual colaborativo por medio de un safari para fomentar el aprendizaje sobre los animales en vía de extinción en Colombia

ColaboraFari VR [20] es un videojuego de realidad virtual con el cual se busca sensibilizar a las personas sobre la situación de los animales en peligro de extinción, con el fin de cumplir el objetivo se sumerge al usuario en una experiencia cercana a los animales que se quieren dar a conocer, como lo son el mono titi y el cóndor. En el juego interactúan 2 personas, una de ellas mediante las gafas de realidad virtual y la otra con un manual que contiene los pasos que debe seguir la otra persona para terminarlo, ambos deben colaborar para así ganar.

La relación que tiene este trabajo con el proyecto planteado tiene que ver con el uso de la realidad virtual para educar de una forma inmersiva, guiada por una serie de cuentos desarrollados en el proyecto “Proyecto colaborativo Colombia-Quebec: narrativa, realidad virtual y deficiencias sensoriales”, así mismo, estos cuentos se van a usar como base en el proyecto planteado.

2.1.2.4. Extended Realities for Sensorially Diverse Children

En este proyecto colaborativo [21] se elaboraron experiencias de realidad extendida, como lo son la realidad aumentada, realidad virtual y realidad mixta, teniendo como base las narrativas de 5 cuentos infantiles creados en el “Proyecto colaborativo Colombia-Quebec: narrativa, realidad virtual y deficiencias sensoriales”. Entre los avances más relacionados con el proyecto planteado se encuentra “Animal rescue application”, la cual es una aplicación de realidad virtual en la cual los usuarios tratan de atrapar a los animales involucrados en el cuento, interactuando con el dispositivo de detección de movimiento Kinect V2 y recibiendo una retroalimentación sonora.

2.1.2.5. Discusión

Los cuatro trabajos revisados comparten con este proyecto el uso de tecnologías inmersivas como apoyo al aprendizaje en poblaciones con diversidad sensorial. Bustos y José [9] y Parmar et al. [19] son los referentes más cercanos por abordar directamente la discapacidad visual y auditiva, respectivamente; mientras que ColaboraFari VR [20] y Restrepo et al. [21] constituyen antecedentes directos al compartir el mismo cuento base, además del contexto institucional de la Javeriana Cali y el Instituto para Niños Ciegos y Sordos del Valle del Cauca.

No obstante, existen diferencias importantes: Bustos y José [9] se enfoca en adultos; BEARS [19] tiene un objetivo terapéutico-auditivo específico; ColaboraFari VR [20] requiere dos usuarios y un manual físico; y Restrepo et al. [21] abarca múltiples cuentos y modalidades de realidad extendida sin profundizar en uno solo.

Frente a estos trabajos, el presente proyecto se distingue por integrar accesibilidad auditiva y visual en un mismo prototipo, contar con acompañamiento de profesionales del Instituto para Niños Ciegos y Sordos del Valle del Cauca, e incorporar retroalimentación multimodal. Como limitaciones, el prototipo cubre solo el primer nivel de tres planteados y su alcance está restringido a un entorno controlado con las gafas Meta Quest 3S.

Metodología, Análisis y Diseño

3.1. Metodología

3.1.1. Metodología SCRUM

Para la realización de este proyecto, se decidió emplear la metodología SCRUM. Esta es una metodología para el desarrollo de software basada en un enfoque iterativo e incremental, en el cual el trabajo se organiza en ciclos cortos denominados *sprints*, que permiten la entrega progresiva de incrementos funcionales y la adaptación continua a los cambios del proyecto. Este marco de trabajo promueve la colaboración del equipo, la retroalimentación constante y la mejora continua del prototipo [22].

En el presente proyecto, la metodología SCRUM resulta pertinente debido a que el desarrollo de una experiencia inmersiva en realidad virtual requiere de procesos consecutivos de diseño, implementación, prueba y validación de componentes narrativos, interactivos y de accesibilidad. El uso de *sprints* cortos facilita la evaluación temprana del prototipo, la incorporación de ajustes según los resultados obtenidos y el cumplimiento progresivo de los objetivos planteados.

Con el propósito de dar cumplimiento a los objetivos planteados anteriormente, la metodología se centra en la construcción de un prototipo interactivo en realidad virtual basado en el cuento “*El cóndor que aprendió a volar*”. El enfoque se orienta al diseño, desarrollo e implementación de una experiencia inmersiva que priorice los criterios de accesibilidad para niños de 5 a 12 años con diversidad sensorial auditiva y visual. Cada uno de los objetivos establecidos en la sección 1.2.2 se desarrollará a través de un conjunto de actividades organizadas de acuerdo con la metodología SCRUM, permitiendo avanzar de forma ordenada hasta la entrega del prototipo final.

3.1.2. Herramientas y Recursos Técnicos

- Dispositivo de realidad virtual

Como el resultado final del proyecto involucra la implementación de un prototipo de realidad virtual, se cuenta con una plataforma adecuada para el correcto funcionamiento del prototipo, como lo son unas gafas de realidad virtual, específicamente las Meta Quest 3S, las cuales se encuentran disponibles en la universidad. Estas gafas permiten el uso autónomo sin necesidad del PC conectado, lo que facilita las pruebas con los niños del instituto.

- Equipo de cómputo

Para la implementación del prototipo de realidad virtual se opta por un sistema de cómputo con altas capacidades que permita el soporte de Unity para la elaboración y renderización 3D sin problemas de rendimiento, y facilidad de compilación para Android (plataforma de las Meta Quest 3S).

- **Motor de desarrollo: Unity**

Para la realización de este proyecto se hará uso de un software especial para la creación de escenarios 3D en realidad virtual, siendo Unity la opción más acertada, permitiendo implementar la experiencia inmersiva que se espera elaborar. Unity permite el soporte nativo para Meta Quest mediante el XR Interaction Toolkit, amplia documentación, y es el motor usado en proyectos previos relacionados del mismo grupo de investigación.

- **Herramientas de modelado**

Para la creación de los assets visuales del prototipo, incluyendo los personajes y elementos del entorno, se utilizara Blender, una herramienta de modelado 3D de código abierto que es ampliamente utilizada en el desarrollo de videojuegos. Su compatibilidad directa con Unity mediante exportación en formato FBX facilita la integración de los modelos del entorno virtual.

3.1.3. Plan de actividades del proyecto

Durante el desarrollo del prototipo, se llevó a cabo una serie de actividades para cada objetivo específico establecido anteriormente en la sección 1.2.2. A continuación, se presenta las actividades llevadas a cabo:

- **Objetivo específico 1:** Adaptar el contenido narrativo del cuento *“El cóndor que aprendió a volar”* a un sistema interactivo y accesible que permita integrarse a la realidad virtual.
 - Llevar a cabo la reestructuración de la narrativa del cuento, ajustándose a un formato que favorezca la interacción dentro de un entorno virtual.
 - Elaborar un guión narrativo y técnico ajustado al formato de realidad virtual.
 - Validar la pertinencia y adecuación del guión a las necesidades de los niños.
- **Objetivo específico 2:** Estructurar la experiencia inmersiva del cuento de manera que facilite su representación en un entorno de realidad virtual para niños con diversidad sensorial auditiva y visual.
 - Definir los recursos de accesibilidad necesarios (audio descriptivo, subtitulado, apoyos sonoros), con orientación de los profesionales del instituto para niños ciegos y sordos del Valle del Cauca.
 - Diseñar la arquitectura general de la experiencia inmersiva, definiendo la relación entre escenarios, personajes y elementos de interacción.

- Seleccionar las herramientas tecnológicas adecuadas y compatibles con dispositivos de realidad virtual.
 - Elaborar prototipos iniciales que serán revisados y validados por los profesionales del Instituto, con el fin de asegurar que las propuestas sean pertinentes en términos de accesibilidad.
- **Objetivo específico 3:** Implementar el prototipo de una experiencia inmersiva en realidad virtual, favoreciendo la accesibilidad para los niños con diversidad sensorial auditiva y visual.
- Desarrollar el prototipo definitivo en un motor de realidad virtual, siguiendo las recomendaciones validadas previamente por los profesionales del Instituto.
 - Integrar recursos de accesibilidad definidos en fases anteriores.
 - Documentar el diseño final del prototipo y los ajustes realizados.
- **Objetivo específico 4:** Evaluar la usabilidad y accesibilidad de la experiencia inmersiva basada en el cuento infantil.
- Definir criterios de evaluación de la usabilidad y accesibilidad del prototipo, en conjunto con los profesionales del Instituto.
 - Realizar pruebas técnicas internas para garantizar la estabilidad, funcionalidad y el correcto desempeño del prototipo.
 - Ejecutar pruebas piloto en un entorno controlado, con el acompañamiento de los profesionales del Instituto, quienes actuarán como evaluadores principales.
 - Recolectar y analizar las observaciones dadas por los profesionales del instituto, identificando fortalezas y áreas de mejora.
 - Realizar ajustes finales al prototipo, tomando como base la retroalimentación obtenida en la evaluación.

3.1.4. Aplicación de SCRUM en el Proyecto

Basándonos en las actividades previamente mencionadas y siguiendo la metodología SCRUM adaptado al contexto académico, con sprints de una semana de duración. Al inicio del proyecto se definieron los siguientes roles: el Dr. Andrés Adolfo Navarro Newball asume el rol de Scrum Master y Product Owner: como Product Owner define las prioridades y valida los incrementos del producto, y como Scrum Master orienta el proceso y facilita la toma de decisiones. David Alejandro Salazar Zuleta y Jeysa Nahara Blandon Martinez conforman el equipo de desarrollo.

Cada etapa de desarrollo consiste en una reunión semanal con el director, en el cual el equipo presenta los avances del sprint finalizado, donde a partir de la retroalimentación recibida, se define el objetivo del siguiente sprint. La implementación del proyecto se llevó a cabo en 13 sprints, cada uno con objetivos específicos que abarcaron desde la definición narrativa y el diseño del entorno

hasta la integración de audio y el tutorial interactivo. Entre los sprints más significativos se destacan el Sprint 2, en el cual se validó el diseño con los profesionales del Instituto, y los Sprints 4 y 5, donde se implementaron las mecánicas centrales del juego.

Los capítulos subsiguientes presentan únicamente los resultados correspondientes a la última iteración del desarrollo, reflejando el estado final del prototipo. El historial completo de sprints, incluyendo los avances, decisiones de diseño y retroalimentación recibida en cada ciclo, se encuentra documentado en el [Anexo A](#).

3.2. Análisis

3.2.1. Tipo de estudio

El presente proyecto es un estudio de tipo aplicado con alcance descriptivo-propositivo, debido a que, en primera fase, se orienta a la utilización de conocimientos teóricos sobre realidad virtual, accesibilidad y narrativa interactiva para el diseño y desarrollo de un prototipo funcional con fines educativos. Posteriormente, se desarrolla la construcción de un prototipo interactivo en realidad virtual orientado a niños de 5 a 12 años con diversidad sensorial auditiva y visual. Este enfoque permite no solo comprender la problemática abordada, sino también generar una respuesta funcional que contribuya al proceso de inclusión educativa.

3.2.2. Tipo de usuario

El público objetivo de esta experiencia inmersiva en realidad virtual está conformado por niños entre 5 y 12 años con diversidad sensorial auditiva y visual, especialmente aquellos vinculados al Instituto para Niños Ciegos y Sordos del Valle del Cauca. Se considera que los usuarios pueden tener poca o nula experiencia con tecnologías de realidad virtual, por lo que la interacción debe ser intuitiva, guiada y supervisada por profesionales para garantizar la seguridad durante la experiencia. Es importante destacar, que aunque el enfoque principal está dirigido a niños con diversidad sensorial auditiva y visual, la experiencia también puede ser utilizada por niños que no presentan estas condiciones, como herramienta de apoyo al aprendizaje y de concientización sobre la conservación de especies en vía de extinción en Colombia.

3.2.3. Objetivos pedagógicos

El objetivo pedagógico planteado en este proyecto es ayudar en el desarrollo de habilidades cognitivas, motrices y emocionales de niños entre 5 y 12 años con diversidad sensorial auditiva y visual, mediante la interacción con la narrativa y las mecánicas de la experiencia inmersiva de realidad virtual.

- **Comprensión narrativa:** Favorecer la comprensión de historias mediante el uso de audio, subtítulos e ilustraciones dentro del entorno virtual.

- **Atención y memoria:** Estimular la atención selectiva y la memoria a través de la identificación de eventos y la respuesta a preguntas sobre la experiencia vivida.
- **Coordinación motriz:** Desarrollar la coordinación motriz y los tiempos de reacción mediante la interacción con los controles y la evasión de obstáculos.
- **Percepción espacial:** Fortalecer la orientación y el reconocimiento espacial mediante la identificación de estímulos.
- **Reconocimiento de emociones:** Promover la identificación, comprensión y expresión de emociones a través de la narrativa y las situaciones presentadas en la experiencia.
- **Inclusión y accesibilidad:** Garantizar un entorno de aprendizaje accesible mediante el uso de múltiples canales sensoriales (visual, auditivo y háptico).
- **Conciencia ambiental:** Fomentar el reconocimiento y la valoración del cóndor como especie en vía de extinción.

3.2.4. Realidad virtual como herramienta para el aprendizaje

En el contexto actual, la integración de tecnologías digitales en la educación ha dado lugar a nuevas metodologías de enseñanza orientadas a mejorar la accesibilidad y la calidad del aprendizaje. Dentro de estas tecnologías, la realidad virtual y la gamificación destacan por su capacidad de generar entornos inmersivos e interactivos que pueden adaptarse a diversas necesidades, incluyendo aquellas relacionadas con la diversidad sensorial.

Diversos autores han destacado la importancia de la realidad virtual y la gamificación en el aprendizaje. En este sentido, Zambrano Mera en su estudio enfocado en analizar el impacto de las tecnologías digitales en los procesos de enseñanza y aprendizaje en entornos educativos, señala que las tecnologías digitales enriquecen la experiencia educativa y tienen un alto potencial para transformar los procesos de enseñanza y aprendizaje [13]. De manera complementaria, Pinargote Castro [17] concluye, a partir de una revisión sobre la implementación de la realidad virtual en la educación, que esta tecnología permite generar experiencias más inmersivas y colaborativas.

Un estudio que se relaciona fuertemente con los objetivos de este proyecto es el de Visa [16], donde se observa que las estrategias innovadoras y el uso de tecnologías adaptativas cumplen un papel clave en la promoción de la inclusión en entornos virtuales de aprendizaje. En este sentido, se destaca la necesidad de desarrollar experiencias inmersivas que integren principios de accesibilidad y favorezcan la participación de usuarios con diversas capacidades sensoriales.

Asimismo, otro estudio que se alinea con los objetivos de este proyecto es el de Lautaru [18], donde se evidencia que, mediante la gamificación, se presentan mejoras en habilidades lingüísticas, que se reflejan en un mayor desarrollo en la producción y discriminación de sonidos del idioma objetivo, así como en la comprensión y uso adecuado de la gramática y el vocabulario.

La realidad virtual es la herramienta principal de este proyecto, por esto es importante saber cuales son los puntos fuertes y débiles de esta tecnología:

3.2.4.1. Ventajas

- **Inmersión:** La realidad virtual ofrece una alta capacidad de inmersión, lo que favorece la concentración del niño y su participación activa dentro del entorno de aprendizaje.
- **Motivación:** Mejora la experiencia educativa al incorporar elementos dinámicos e interactivos propios de la gamificación, lo que incrementa el interés y compromiso del usuario.
- **Desarrollo de habilidades:** Permite fortalecer habilidades como la coordinación motriz, la atención y la memoria, a través de la interacción directa con el entorno virtual.

3.2.4.2. Desventajas y Mitigación

- **Mareo o fatiga:** El uso prolongado de entornos de realidad virtual puede generar incomodidad. Para mitigar este efecto, se deben mantener una fluidez adecuada durante la experiencia, con movimientos suaves y sesiones de corta duración.
- **Accesibilidad tecnológica:** El acceso a dispositivos de realidad virtual puede ser limitado. Por ello, el proyecto está planteado para ser implementado en entornos controlados, como el Instituto para Niños Ciegos y Sordos del Valle del Cauca, donde cuentan con los dispositivos necesarios.
- **Curva de aprendizaje:** Dado que los usuarios podrían no estar familiarizados con esta tecnología, se incorporan tutoriales e instrucciones claras que faciliten la adaptación.

3.2.5. El cóndor andino como especie en peligro de extinción

El cóndor Andino es una especie emblemática en países como Colombia, Ecuador, Chile y Bolivia, por lo que posee una gran relevancia cultural dentro del folclore andino [23]. El cóndor andino es una especie catalogada como amenazada, con una población en disminución, especialmente en países como Colombia, Ecuador y Venezuela en donde su situación es crítica. Además, características como su baja tasa reproductiva, su prolongada dependencia parental y sus hábitos alimenticios incrementan su vulnerabilidad frente a la extinción [24].

Lo anterior resalta la importancia de desarrollar estrategias educativas orientadas a la conservación y concientización ambiental desde edades tempranas. En este sentido, el presente proyecto incorpora información relevante sobre el cóndor andino con el propósito de que los niños no solo adquieran conocimientos, sino que también desarrollen sensibilización hacia la especie. Para ello, se integran características representativas del animal, como su hábitat, su gran envergadura, su plumaje, su imponente pico y garras, y su capacidad de planear grandes distancias. Estos elementos buscan generar interés, empatía y apropiación del conocimiento, promoviendo actitudes positivas hacia su conservación.

3.2.6. Actores del Sistema

En el desarrollo del presente proyecto se identificaron los siguientes actores que interactúan directa o indirectamente con el prototipo.

- **Actor principal**

- Niño con diversidad sensorial auditiva y visual**

- Edad entre los 5 a 12 años, perteneciente al Instituto para Niños Ciegos y Sordos del Valle del Cauca. Es el usuario central del sistema, donde todas las decisiones de diseño e implementación del prototipo se orientan alrededor de sus necesidades sensoriales, cognitivas y pedagógicas.

- **Actor de apoyo**

- Profesionales del Instituto para Niños Ciegos y Sordos**

- Participaron en el proceso de validación del diseño del prototipo a lo largo del desarrollo, retroalimentando las decisiones narrativas y visuales en etapas tempranas. Adicionalmente, en la fase de pruebas, un grupo de profesionales interactuó directamente con el prototipo utilizando las gafas Meta Quest 3S, mientras que otros participaron como observadores a través de la proyección externa en televisor.

- **Actor institucional**

- Dr. Andrés Adolfo Navarro Newball - Director del proyecto**

- Cumplió un rol central a lo largo de todo el desarrollo. En cada reunión semanal evaluaba los avances, orientaba las decisiones técnicas y narrativas, sugería herramientas, proponía ajustes de diseño y accesibilidad, y definía junto al equipo los objetivos del siguiente sprint. Su acompañamiento fue decisivo para garantizar que el prototipo respondiera tanto a los criterios académicos como a las necesidades reales de los niños.

3.2.7. Identificación de actividades para el juego

Durante las reuniones con los profesionales del Instituto para Niños Ciegos y Sordos del Valle del Cauca, se identificó la necesidad de diseñar actividades lúdicas que se alineen con la narrativa del cuento y los objetivos pedagógicos, de forma que sean adecuadas para la población objetivo. Estas actividades deben considerar los elementos más representativos de la historia y promover la participación activa de los niños en el entorno virtual, reforzando aspectos como:

- **Elementos tomados de la historia:** Las actividades deben reflejar los eventos y personajes clave del cuento *“El cóndor que aprendió a volar”*, de manera que el niño pueda reconocer y conectar la experiencia virtual con la narrativa original.
- **Interacciones del juego:** Las actividades deben ser interactivas y aprovechar las capacidades inmersivas de la realidad virtual para mantener el interés y la atención de los niños, involucrándolos activamente en el desarrollo de la historia.

- **Accesibilidad:** Las actividades deben diseñarse teniendo en cuenta las diversas condiciones sensoriales de los niños, tanto auditivas como visuales, asegurando que todos puedan participar plenamente en la experiencia. Haciendo uso de audio comprensible, acompañado de subtítulos sincronizados, legibles y con alto contraste entre los subtítulos y el fondo, para garantizar la accesibilidad.
- **Memoria e inhibición:** Las actividades deben estimular en los niños la capacidad de recordar eventos de la historia y de controlar respuestas impulsivas, fortaleciendo así sus habilidades cognitivas dentro del entorno de juego.
- **Uso de adjetivos y adverbios de lugar:** Las actividades deben incorporar lenguaje descriptivo de manera natural dentro de la experiencia, utilizando adverbios de lugar de forma auditiva para guiar al niño en el entorno virtual y favoreciendo así el desarrollo del lenguaje.
- **Fortalecimiento de valores:** Las actividades deben fomentar la apropiación de valores como empatía, confianza y conciencia ambiental.
- **Reconocimiento de emociones:** Las actividades deben permitir al niño identificar, comprender y expresar las emociones transmitidas a través de la narrativa.
- **Coordinación motriz:** Las actividades deben promover la coordinación motriz mediante el uso de controles de realidad virtual, favoreciendo la precisión, la percepción espacial, la atención selectiva y la capacidad de reacción del niño.

Con base en los elementos identificados anteriormente, se definieron las siguientes actividades para el prototipo:

- **Juego de esquivar rayos:** Corresponde a la mecánica principal del minijuego. El jugador controla el vuelo del cóndor café a través de un entorno montañoso con ambientación de tormenta, donde debe esquivar los rayos que aparecen en su trayectoria, los cuales son anticipados mediante estímulos auditivos, visuales y hápticos. Esta actividad refleja directamente el evento climático con el cual se desencadena el problema central presente en la narrativa del cuento, y contribuye al desarrollo de la coordinación motriz del jugador mediante el uso de los controles de las gafas Meta Quest 3S.
- **Preguntas de selección múltiple:** Al finalizar el nivel, se presentan preguntas cortas y específicas sobre los eventos ocurridos durante la escena. Estas están diseñadas para el rango de edad entre 5 y 12 años, utilizando lenguaje sencillo, opciones de respuesta breves y apoyo visual mediante ilustraciones, con el fin de reforzar la comprensión narrativa y estimular la memoria del jugador sobre la experiencia vivida.

3.2.8. Educción de requisitos

3.2.8.1. Requisitos Funcionales (RF)

- **RF01:** El sistema debe mostrar la narrativa y diálogos de la historia mediante audio entendible y subtítulos legibles con alto contraste.
- **RF02:** El sistema debe contar con al menos con un minijuego de los 3 propuestos en el [Anexo C](#), adaptado para niños entre 5 y 12 años con diversidad sensorial auditiva y visual, garantizando que puedan comprender las instrucciones, interactuar con el entorno y completar el objetivo sin barreras sensoriales.
- **RF03:** El sistema debe incluir preguntas de comprensión básicas sobre el nivel jugado o el contexto del cóndor, presentadas mediante audio y apoyo visual, para evaluar y reforzar el aprendizaje del usuario.
- **RF04:** El sistema debe proporcionar instrucciones de cada nivel en formato auditivo y visual, mediante narración clara, subtítulos sincronizados e imágenes de apoyo, de forma que los usuarios comprendan los objetivos antes de iniciar el nivel.
- **RF05:** El sistema debe recrear escenarios inspirados en los hábitats naturales del cóndor de los andes, incluyendo elementos representativos de los paisajes en los que comúnmente se encuentra el cóndor de los ándes, con el fin de favorecer la coherencia narrativa y el aprendizaje.
- **RF06:** El sistema debe presentar instrucciones claras y accesibles, mediante audio y apoyo visual, que expliquen el uso de los controles necesarios para interactuar con el videojuego antes de iniciar cada nivel.
- **RF07:** El sistema debe proporcionar retroalimentación constante mediante estímulos auditivos, visuales y hápticos (Sonidos, cambios de color, contrastes y vibraciones), con el fin de mejorar las interacciones del usuario.

3.2.8.2. Requisitos No Funcionales (RNF)

- **RNF01 (Rendimiento):** El sistema se debe observar a una velocidad de reproducción fluida, para mayor comodidad del usuario y menor posibilidad de mareos.
- **RNF02 (Usabilidad):** El sistema debe ser accesible para niños entre 5 y 12 años con diversidad sensorial auditiva y visual, mediante el uso de contrastes fuertes, diseños minimalistas y especialización del sonido.
- **RNF03 (Usabilidad):** El sistema debe tener una interacción sencilla y clara dándole al usuario indicadores de interacción visuales y auditivos.

- **RNF04 (Compatibilidad):** El sistema debe ejecutarse en las gafas de realidad virtual MetaQuest 3S ya sea de forma autónoma o haciendo uso de un computador compatible con las gafas.
- **RNF05 (Mantenibilidad):** El sistema debe tener una estructura que permita la modificación de componentes específicos (Escenas, assets) sin afectar el funcionamiento global de la experiencia.

3.2.8.3. Criterios de éxito

- **RF01:** El sistema presenta la narrativa del videojuego mediante audio comprensible (sin distorsiones), acompañado de subtítulos sincronizados, legibles y con alto contraste entre los subtítulos y el fondo, para garantizar accesibilidad y correcta comprensión de la historia.
- **RF02:** El nivel implementado cuenta con apoyos auditivos y visuales (indicadores visuales o sonoros y vibraciones), adecuados para niños de 5 a 12 años con diversidad sensorial auditiva y visual, previamente aprobados por profesionales del instituto, garantizando que puedan comprender, interactuar y completar cada nivel sin barreras sensoriales.
- **RF03:** Se muestran correctamente las preguntas mediante audio comprensible, acompañado de subtítulos sincronizados, legibles y con alto contraste, previamente aprobadas por profesionales del instituto para garantizar su comprensión y pertinencia.
- **RF04:** Se presentan las instrucciones de cada nivel mediante narración clara, subtítulos sincronizados e imágenes de apoyo, garantizando que el usuario comprenda las mecánicas y objetivos del nivel.
- **RF05:** El nivel del juego posee al menos tres elementos representativos del hábitat del cóndor.
- **RF06:** Se muestra un tutorial al inicio de la experiencia y en cada uno de los tres niveles, mediante audio y apoyo visual, que explica las mecánicas y controles necesarios para interactuar con el videojuego.
- **RF07:** Durante las interacciones del usuario, el sistema genera al menos un tipo de retroalimentación sensorial (auditiva, visual o háptica) en todas las acciones clave del juego (inicio de nivel, interacción con objetos, aciertos, errores y finalización del nivel).
- **RNF01 (Rendimiento):** El sistema mantiene una velocidad de reproducción fluida durante más del 90 % del tiempo de ejecución.
- **RNF02 (Usabilidad):** El sistema es accesible para niños entre 5 y 12 años con diversidad sensorial auditiva y visual, mediante el uso de contrastes fuertes, diseños minimalistas, espacialización del sonido y estímulos hápticos, evaluados por profesionales del instituto.
- **RNF03 (Usabilidad):** El usuario identifica las interacciones de forma sencilla y rápida, en un tiempo aproximado menor a 15 segundos.

- **RNF04 (Compatibilidad):** El sistema se ejecuta en las gafas Meta Quest 3S de forma autónoma o mediante conexión a un computador compatible (modo standalone, Link o Air Link).
- **RNF05 (Mantenibilidad):** El sistema está construido con una estructura modular que permite la modificación de componentes específicos (escenas, assets) sin afectar el funcionamiento global de la experiencia.

3.3. Diseño

La fase de diseño se desarrolló como etapa previa a la implementación del prototipo, estableciendo las bases narrativas, interactivas y de accesibilidad de la experiencia inmersiva., todas ellas ajustadas a partir de la retroalimentación recibida por parte de los profesionales del Instituto para Niños Ciegos y Sordos del Valle del Cauca.

3.3.1. Diagrama de Casos de Uso

La Figura 3.1 presenta el diagrama de casos de uso del prototipo, en el cual se identifican las interacciones principales del niño con el sistema y las funcionalidades que componen la experiencia inmersiva.



Figura 3.1: Diagrama de casos de uso del prototipo

3.3.2. Diagrama de Flujo

El diagrama de flujo de la figura 3.2 ilustra la experiencia general, describiendo la secuencia de eventos y decisiones que estructuran el recorrido del niño a lo largo del prototipo.

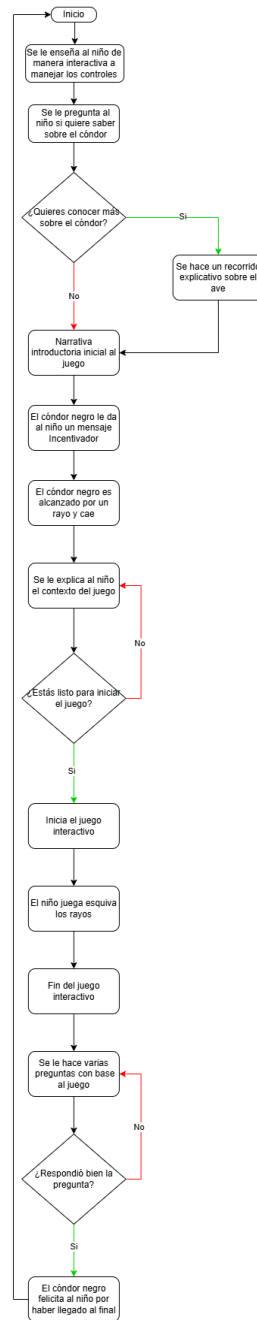


Figura 3.2: Diagrama de Flujo del prototipo

3.3.3. Diagrama de Máquina de Estados Finito

La presente máquina de estados que se muestra en la figura 3.3 corresponde a la mecánica principal del juego, modelando los posibles estados del juego y las transiciones generadas a partir de las acciones del niño.

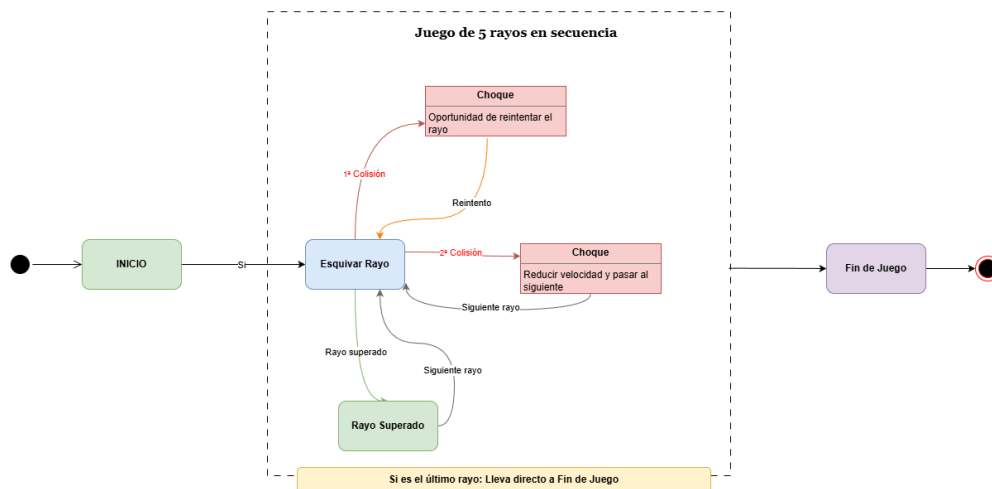


Figura 3.3: Diagrama de la máquina de estados finito del prototipo

3.3.4. Mecánica del Juego

Teniendo en cuenta los objetivos pedagógicos y las actividades definidas en la sección 3.2.7, se diseñaron las mecánicas del prototipo de forma que fueran coherentes con la narrativa del cuento y accesibles para niños entre 5 y 12 años con diversidad sensorial auditiva y visual. Cada mecánica fue pensada para ser intuitiva y estar acompañada de retroalimentación multimodal que facilite la comprensión y participación del niño. Las mecánicas implementadas fueron las siguientes:

- **Tutorial interactivo de controles:** Antes de iniciar el juego, el niño recorre una guía interactiva que le enseña a usar los controles de las gafas Meta Quest 3S. Esta mecánica garantiza que el niño comprenda las acciones disponibles antes de enfrentarse al reto principal.
- **Esquivar rayos:** Es la mecánica central del juego. El niño controla el vuelo del cóndor marrón a través de un entorno montañoso con ambientación de tormenta, debiendo esquivar cinco rayos que aparecen en secuencia. Cada rayo es anunciado mediante estímulos auditivos y visuales previos a su aparición, permitiendo al jugador anticipar y reaccionar. Ante una primera colisión, el sistema ofrece la oportunidad de reintentar el mismo rayo; en caso de una segunda, se reduce la velocidad y avanza automáticamente al siguiente, para evitar así la frustración y garantizar que todos los niños puedan completar la experiencia.
- **Pregunta de comprensión:** Al finalizar el minijuego, se presentan preguntas de selección múltiple sobre características físicas de los cóndores o los eventos ocurridos durante la escena.

La pregunta está diseñada con lenguaje sencillo, opciones de respuesta breves y apoyo visual, con el fin de reforzar la memoria y la comprensión narrativa del niño. El niño debe responder correctamente para avanzar a la felicitación final.

3.3.5. Narrativa

El prototipo está basado en el cuento *“El cóndor que aprendió a volar”*, desarrollado en el marco del proyecto colaborativo Colombia-Quebec en conjunto con la Pontificia Universidad Javeriana Cali y los profesionales del Instituto para Niños Ciegos y Sordos del Valle del Cauca. La historia narra la amistad entre un cóndor negro y un cóndor marrón que viven en la Cordillera de los Andes; el cóndor marrón siente temor por las alturas y es su amigo quien lo anima a volar.

El cuento narra cómo un día, mientras el cóndor negro anima a su amigo a volar, una tormenta los sorprende y el cóndor negro es alcanzado por un rayo y cae. Ante esta situación, el cóndor marrón supera su miedo, despliega sus alas y vuela por primera vez para rescatar a su amigo. Así, el cóndor marrón no solo aprende a volar, sino que descubre el valor de la amistad y la confianza en sí mismo. Este resumen sirvió como base para el diseño de la experiencia inmersiva.

3.3.6. Diálogos del Prototipo

Los diálogos fueron diseñados en conjunto con la narrativa del cuento y aprobados por los profesionales del Instituto para Niños Ciegos y Sordos del Valle del Cauca, asegurando coherencia entre la historia original y la experiencia interactiva. Cada escena cuenta con un objetivo pedagógico definido y los textos fueron redactados con lenguaje sencillo y accesible para el rango de edad del público objetivo. El detalle completo de los diálogos organizados por escena se encuentra documentado en el [Anexo B](#).

3.3.7. Diseño de la interfaz

El diseño de la interfaz fue evolucionando a lo largo del desarrollo del prototipo, tomando como punto de partida el storyboard elaborado en el Sprint 1 (ver [Anexo C](#)) y ajustándose progresivamente a partir de la retroalimentación recibida por parte de los profesionales del Instituto para Niños Ciegos y Sordos del Valle del Cauca. A continuación se presentan las decisiones de diseño más relevantes, mostrando la transición entre el diseño inicial y el resultado final implementado en Unity.

El storyboard planteaba iniciar la experiencia directamente con la presentación del cóndor y una pregunta al niño, como se observa en la Figura 3.4. Sin embargo, se decidió incorporar una pantalla de menú principal antes de dar inicio a la experiencia, visible en la Figura 3.5. Este cambio responde a la necesidad de ofrecer al niño un punto de control claro desde el cual pueda iniciar el juego o ajustar la configuración antes de comenzar. En términos de accesibilidad visual, el menú implementado en Unity utiliza un fondo fucsia con texto negro en negrita, tipografía clara y con gran tamaño, garantizando un alto contraste que facilita la lectura para niños con diversidad visual.



Figura 3.4: Pantalla inicial propuesto en el storyboard



Figura 3.5: Menú principal implementado en Unity

Para la sección de recorrido informativo sobre el cóndor, el storyboard proponía ilustraciones del ave acompañadas de cuadros de texto con fondo claro, como se aprecia en la Figura 3.6. Al implementarse en Unity, esta sección mantuvo la misma estructura pero incorporó fotografías reales del cóndor junto al modelo 3D del personaje, presentándose de forma secuencial: primero el subtítulo acompañado de la fotografía real y posteriormente la animación del modelo resaltando la parte específica del ave descrita, tal como se muestra en la Figura 3.7.



Figura 3.6: Diseño de la interfaz en el recorrido informativo sobre el cóndor propuesto en el storyboard



Figura 3.7: Interfaz en el recorrido informativo sobre el cóndor implementado en Unity

En cuanto al tutorial de controles, el storyboard contemplaba imágenes estáticas de los controles físicos con el botón a presionar resaltado visualmente, como se puede observar en la Figura 3.8. Esta aproximación fue reemplazada por un video explicativo que muestra en movimiento cómo sostener el control y qué botón oprimir, como se aprecia en la Figura 3.9, decisión tomada para facilitar la comprensión del niño dado que el movimiento resulta más intuitivo que una imagen estática para este rango de edad.



Figura 3.8: Tutorial de controles propuesto en el storyboard

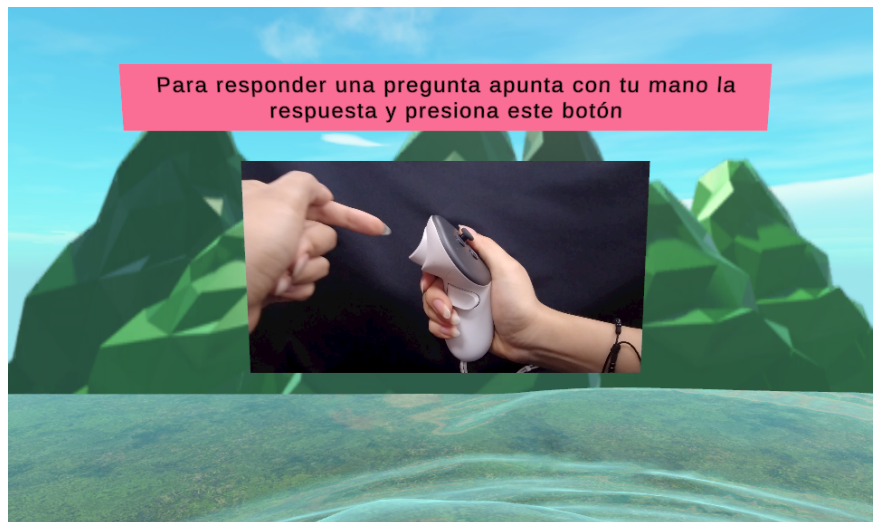


Figura 3.9: Tutorial de controles implementado en Unity

Finalmente, el diseño de la retroalimentación ante respuestas correctas e incorrectas presentó algunos cambios respecto al storyboard, como se puede observar en las Figuras 3.10 y 3.11. Se modificó moderadamente el mensaje de texto que acompaña a la respuesta, los emojis propuestos inicialmente fueron reemplazados por una X roja para respuestas incorrectas y un chulo verde para respuestas correctas, decisión tomada para lograr una comunicación visual más directa e intuitiva para el rango de edad. Adicionalmente, el cóndor negro fue sustituido por el cóndor marrón en esta pantalla, manteniéndose coherente con el personaje principal de la experiencia. Los ajustes de tipografía y contraste se mantuvieron alineados con los criterios de accesibilidad aplicados en el resto de la interfaz.



Figura 3.10: Retroalimentación de respuesta incorrecta y correcta propuesto en el storyboard

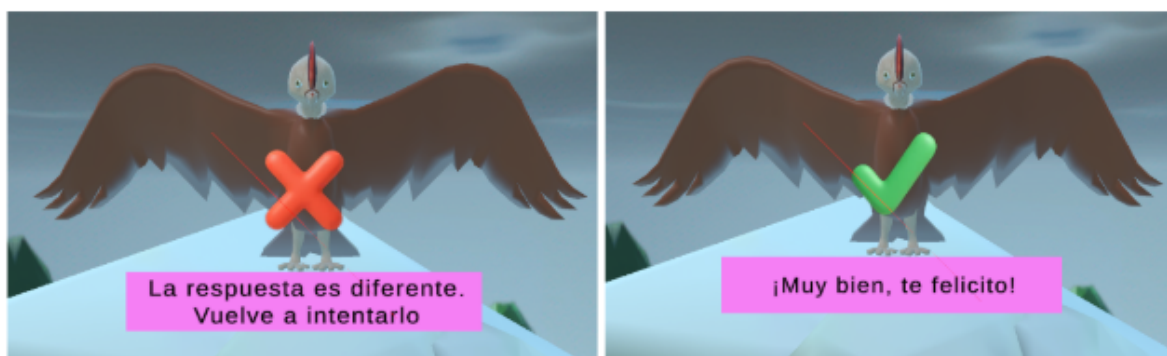


Figura 3.11: Retroalimentación de respuesta incorrecta y correcta implementado en Unity

Dado que las actividades de preguntas y el juego sufrieron cambios sustanciales respecto al storyboard original a raíz de la retroalimentación del instituto, su diseño de interfaz se presenta directamente en su versión final implementada en Unity en el Anexo D, donde además se incluye una comparación visual con el diseño inicial propuesto en el storyboard.

3.3.8. Diseño de Entorno

El diseño del entorno se fundamentó en las características paisajísticas de la Cordillera de los Andes, hábitat natural del cóndor y escenario central de la narrativa del cuento. A partir de referencias visuales de este ecosistema, como se observa en la Figura 3.12, se buscó capturar los elementos más representativos del paisaje andino: montañas de gran altitud, árboles abundantes y cuerpos de agua, con el propósito de fortalecer tanto la coherencia narrativa como el objetivo de conciencia ambiental planteado en el proyecto.



Figura 3.12: Referencia visual de la Cordillera de los Andes colombiana, páramo con nevado

Para la implementación en Unity se optó por un estilo visual basado en una cantidad reducida de polígonos, lo que genera formas geométricas simples y colores sólidos, el cual permite representar estos elementos del entorno de forma estilizada y visualmente atractiva para el público infantil, sin sacrificar la legibilidad del espacio en un entorno de realidad virtual. El resultado integra montañas de distintas alturas, árboles, un río y un cielo nublado que refuerza la ambientación de tormenta propia del evento narrativo central del nivel, como se puede apreciar en la Figura 3.13.

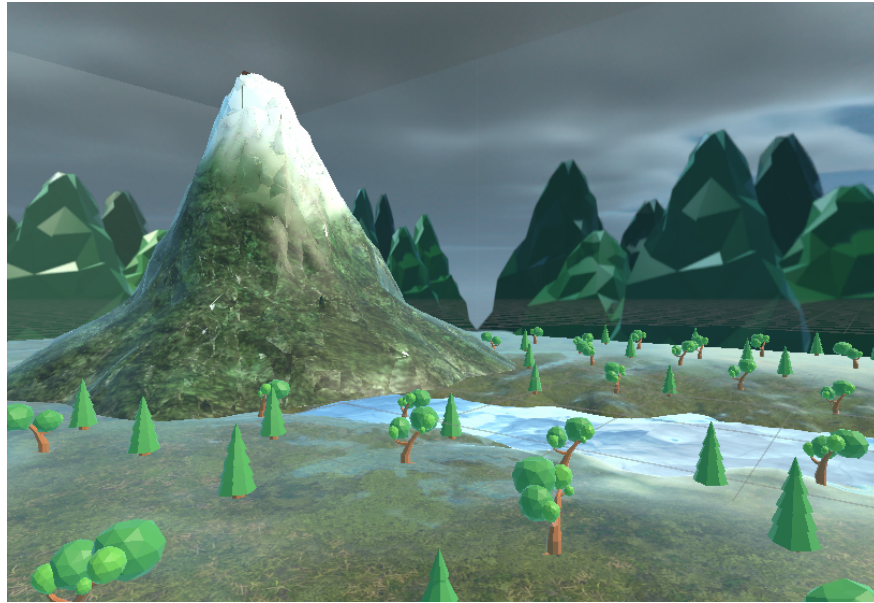


Figura 3.13: Plano general del entorno implementado en Unity

3.3.9. Diseño Visual

El diseño visual del prototipo abarca las decisiones gráficas tomadas tanto para los personajes como para los elementos visuales presentes durante la experiencia. Cada uno de estos componentes fue diseñado considerando el público objetivo, priorizando la claridad, la coherencia con la narrativa del cuento y los criterios de accesibilidad definidos para niños con diversidad sensorial auditiva y visual.

Diseño de personajes:

Los modelos 3D de los personajes principales, el cóndor marrón y el cóndor negro, fueron proporcionados por el director del proyecto junto con sus respectivas texturas, dado que habían sido desarrollados con anterioridad en el marco del proyecto colaborativo Colombia-Quebec. Como se observa en la Figura 3.14, ambos personajes comparten una única malla base, diferenciándose únicamente mediante la aplicación de distintas texturas que definen la apariencia de cada uno, como se puede apreciar en la Figura 3.15.



Figura 3.14: Malla base del cóndor en Blender



Figura 3.15: Texturas del cóndor marrón y cóndor negro en Unity

Elemento Visual:

Los elementos visuales del entorno fueron desarrollados utilizando Blender, a excepción de la malla de la montaña principal, que fue obtenida de la tienda de assets de Unity. Para el rayo, obstáculo central de la mecánica del juego, se diseñaron tres variantes de malla en Blender, visibles en la Figura 3.16. Se optó por el color amarillo para garantizar su visibilidad y diferenciación dentro del entorno, facilitando así la anticipación del obstáculo por parte del niño.

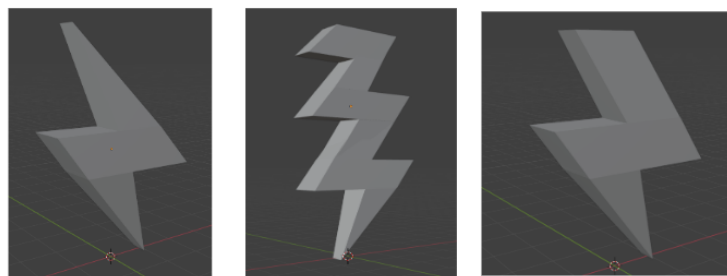


Figura 3.16: Tres variantes de malla del rayo en Blender

Para la vegetación del entorno se modelaron dos tipos de árboles en Blender: un pino y un árbol de copa redondeada, como se observa en la Figura 3.17. Una vez integrados en Unity y aplicadas

las texturas, ambos tipos de árbol adquirieron los colores y materiales definitivos. La montaña principal del entorno, mostrada en la Figura 3.18, fue descargada de la tienda de assets de Unity y adaptada al estilo visual del prototipo haciendo uso de la herramienta de Blender para diseñar texturas.

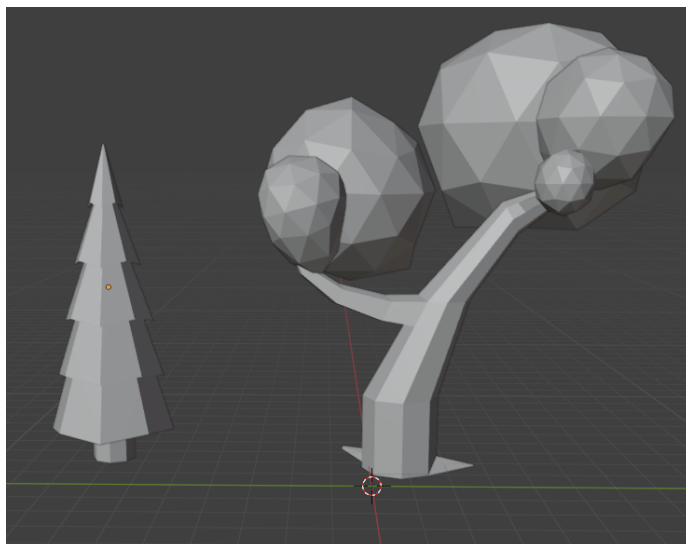


Figura 3.17: Modelos de árboles en Blender

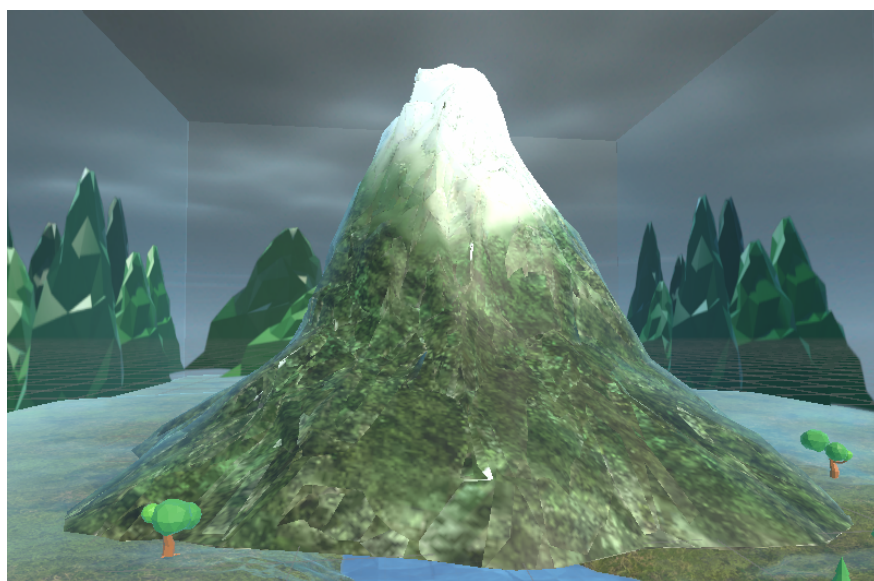


Figura 3.18: Malla de la montaña principal en Unity

3.3.10. Animaciones

Para la creación de las animaciones se empleó la técnica de animación de esqueleto (Skeletal Animation), en la cual cada hueso de un esqueleto virtual está asociado a una parte de la malla 3D del modelo, de modo que al manipular los huesos, la malla se deforma produciendo el movimiento deseado. Los modelos del cóndor fueron proporcionados por el director del proyecto con su estructura ósea ya definida; por tanto, el trabajo de animación consistió en crear las secuencias de movimiento (keyframes) sobre ese esqueleto existente directamente en Blender.

Las animaciones del prototipo fueron desarrolladas en dos herramientas distintas según su naturaleza: Blender para las animaciones cinemáticas predefinidas y Unity para las animaciones reactivas que dependen del comportamiento del juego.

Para la escena del recorrido informativo del cóndor, las animaciones fueron creadas directamente en Blender, dado que se trata de movimientos predefinidos que se reproducen de forma secuencial durante la cinemática, como se puede apreciar en la Figura 3.19. Estas animaciones enfocan partes específicas del ave en movimiento mientras el narrador describe sus características, por lo que no requieren de un controlador de animaciones en Unity, sino que se ejecutan como parte de la cinemática.

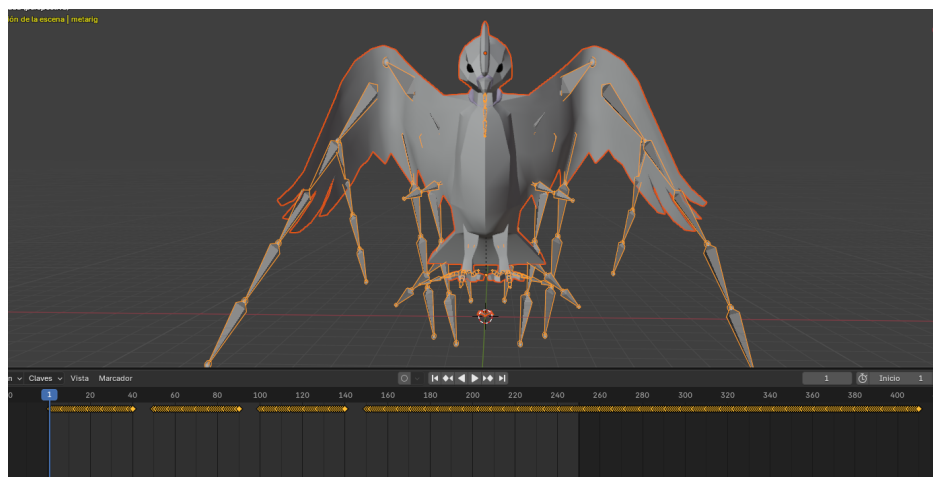


Figura 3.19: Animaciones del recorrido informativo del cóndor en Blender

Para el cóndor negro, se desarrolló en Blender el movimiento base de rotación y giro que representa su caída al ser alcanzado por el rayo, visible en la Figura 3.20. Sin embargo, dado que este comportamiento debe responder a eventos del juego, como la colisión del cóndor marrón con un rayo, la animación de caída fue complementada en Unity mediante programación, permitiendo que el personaje reduzca su velocidad o se detenga de forma dinámica según lo que ocurra durante el juego. El controlador de animaciones correspondiente se puede observar en la Figura 3.21.

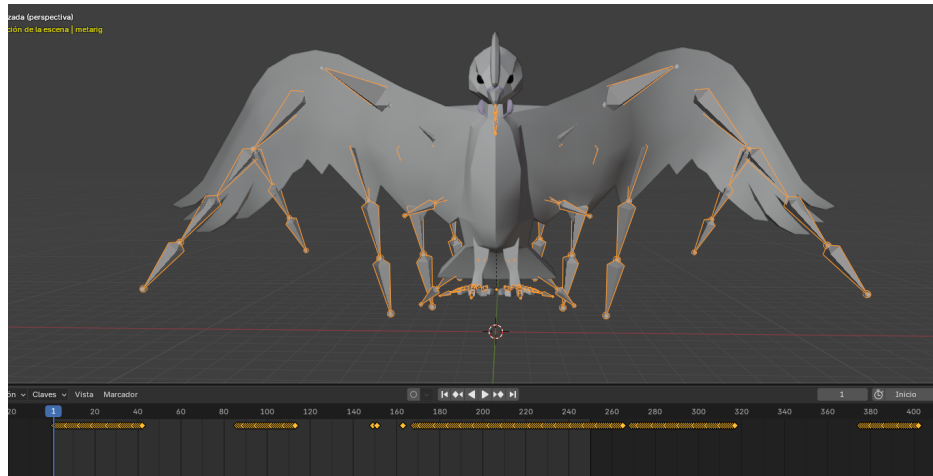


Figura 3.20: Animación base de caída del cóndor negro en Blender

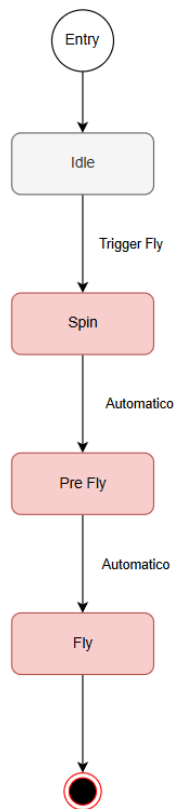


Figura 3.21: Controlador de animaciones de la caída del cóndor negro en Unity

Finalmente, el cóndor marrón, personaje controlado por el jugador, cuenta con un controlador

de animaciones en Unity que gestiona la transición entre los estados de Idle, Start Fly y Fly, activados mediante el parámetro Trigger Fly, como se muestra en la Figura 3.22. La animación de vuelo base fue la única proporcionada junto con el modelo original.

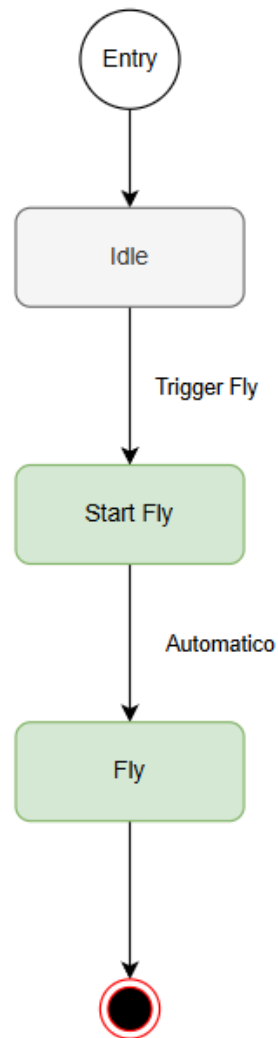


Figura 3.22: Controlador de animaciones del vuelo del cóndor marrón en Unity

Implementación

4.1. Herramientas de Desarrollo

Para el desarrollo de este proyecto se hizo uso de distintas herramientas tecnológicas orientadas a la creación de experiencias en realidad virtual, animaciones, modelos 3D, entre otros recursos. Entre las herramientas usadas se destacan las gafas Meta Quest 3S como plataforma de ejecución para la realidad virtual, Unity como motor de desarrollo haciendo uso de XR Interaction Toolkit para la implementación de interacciones en RV, Blender para el modelado objetos del entorno y la creación de animaciones, además de otras herramientas complementarias para la integración de audio y recursos visuales.

4.1.1. Unity

Unity es un motor de videojuegos que permite la creación de aplicaciones interactivas para diferentes plataformas, desde las más comunes, como celulares, computadores y consolas, hasta plataformas menos convencionales, como las gafas de realidad virtual. Este entorno de desarrollo permite integrar elementos interactivos, físicas, animaciones y audio, entre otras funcionalidades, ofreciendo además compatibilidad con dispositivos de RV mediante el uso de módulos como XR Interaction Toolkit. Unity, a su vez, cuenta con una documentación y una comunidad bastante amplia, lo que facilita la resolución de problemas, el aprendizaje de nuevas funcionalidades y el desarrollo de experiencias en realidad virtual. De esta manera, los mencionados anteriormente fueron algunos de los usos dados al motor de desarrollo Unity dentro del desarrollo e implementación del proyecto.

4.1.2. Meta Quest 3S

Las Meta Quest 3S son unas gafas de realidad virtual diseñadas para ofrecer experiencias inmersivas e interactivas sin necesidad de una conexión permanente a un computador, gracias a su capacidad de procesamiento autónomo. Además, ofrecen compatibilidad con el motor de desarrollo Unity utilizado en este proyecto, facilitando la implementación y ejecución de aplicaciones de realidad virtual. Las Meta Quest 3S también proporcionan una experiencia fluida mediante audio espacial, retroalimentación vibratoria y seguimiento preciso de movimientos, características adecuadas para el desarrollo de experiencias accesibles e inmersivas orientadas al aprendizaje de los niños. En este sentido, las gafas Meta Quest 3S fueron utilizadas como plataforma de ejecución autónoma del prototipo, permitiendo la interacción del usuario con el entorno virtual y la evaluación de la experiencia inmersiva desarrollada.

4.1.3. Blender

Blender es una herramienta de modelado y animación 3D de código abierto ampliamente utilizada en el desarrollo de videojuegos y entornos virtuales. Este software permite la creación y edición de modelos 3D, animaciones y texturizado, facilitando la elaboración de recursos visuales para experiencias inmersivas. Además, Blender ofrece compatibilidad con motores de desarrollo como Unity mediante formatos de exportación compatibles, lo que facilita la integración de los elementos creados dentro del entorno virtual. En este proyecto, Blender fue utilizado para la creación y modificación de algunos modelos 3D del entorno, como el diseño de la textura de la montaña principal y la elaboración de animaciones utilizadas durante la experiencia inmersiva.

4.2. Implementación del Cóndor

El cóndor de los Andes es el personaje principal de la narrativa de la experiencia inmersiva, y uno de los principales propósitos del videojuego es que el niño se identifique con el cóndor que aprendió a volar. A través de la experiencia, se busca que el niño reconozca emociones como el miedo, pero también desarrolle sentimientos de valentía y superación representados en el personaje. Asimismo, se pretende que el usuario aprenda aspectos relevantes sobre el cóndor andino, como su hábitat y sus principales características físicas. Este objetivo se logró mediante la implementación de recursos como perspectivas de cámara, narraciones y diálogos orientados a fortalecer la inmersión y la identificación del niño con el cóndor dentro de la experiencia.

4.2.1. Integración de narraciones y diálogos

Como se mencionó anteriormente, uno de los propósitos del videojuego es que el niño se sienta identificado con el cóndor y logre comprender sus emociones, sus valores e incluso lo que puede llegar a pensar. Esto se logró mediante las narraciones y diálogos donde se explica la situación que están viviendo los cóndores, con los cuales se buscó transmitir la mayor expresividad narrativa posible, además de la ambientación del escenario tanto visual como auditiva y los planos de la cámara.

4.2.2. Uso de la cámara

El posicionamiento de la cámara es una característica muy relevante en la creación de experiencias visuales, ya que influye directamente en la percepción de la narrativa y la interacción del niño con la experiencia. Por esta razón, en el proyecto fue importante la implementación de distintos enfoques de cámara, según las necesidades de cada escena. Se utilizaron perspectivas en tercera persona durante el minijuego de esquivar los rayos, para facilitar al jugador el reconocimiento del espacio que ocupa el cóndor, como se puede observar en la figura 4.1a. Además, se emplearon tomas en tercera persona frontal durante los diálogos, permitiendo identificar con mayor claridad el personaje que está hablando o sobre el cual se desarrolla la escena, esto se ve en la figura 4.1b.



(a) Vista en tercera persona posterior



(b) Vista en tercera persona frontal

Figura 4.1: Vista de la cámara en tercera persona

4.2.3. Estructura del modelo del cóndor

Es importante hablar de la estructura de *GameObjects* del cóndor y sus componentes asociados. Empezando por la estructura, el *asset* del cóndor (*condorV3*) está conformado por dos *GameObjects* principales, que son *Cresta* y *metarig*, como se puede observar en la figura 4.2. El primero (*Cresta*) corresponde a la malla 3D del cóndor, es decir, toda la forma geométrica tridimensional del personaje, como se muestra en la figura 3.14. El segundo corresponde a la estructura de huesos asociada al *asset*, la cual permite controlar animaciones a partir del movimiento de dichos huesos, como se muestra en la figura 3.19 y 3.20.



Figura 4.2: Estructura del GameObject del cóndor

Continuando con los componentes asociados al *asset* del cóndor (*condorV3*), como se observa en la figura 4.3 está conformado por un *Box Collider* y un *Rigidbody*, mediante los cuales se consigue detectar cuándo el cóndor es impactado por algún rayo. Además, cuenta con un script denominado *Condor Collision*, encargado de ejecutar las acciones necesarias cuando el cóndor colisiona con un rayo, como devolverlo una distancia determinada y avisarle al niño que debe volver a intentar esquivar el obstáculo, únicamente si es la primera vez que impacta con ese rayo específico. Si el jugador impacta nuevamente el mismo rayo, el script reduce la velocidad de movimiento del cóndor con el propósito de adaptar la experiencia a las habilidades del niño. Por último, el modelo posee un componente *Animator*, encargado de controlar las animaciones del cóndor, como la animación de vuelo, las cuales serán explicadas posteriormente.

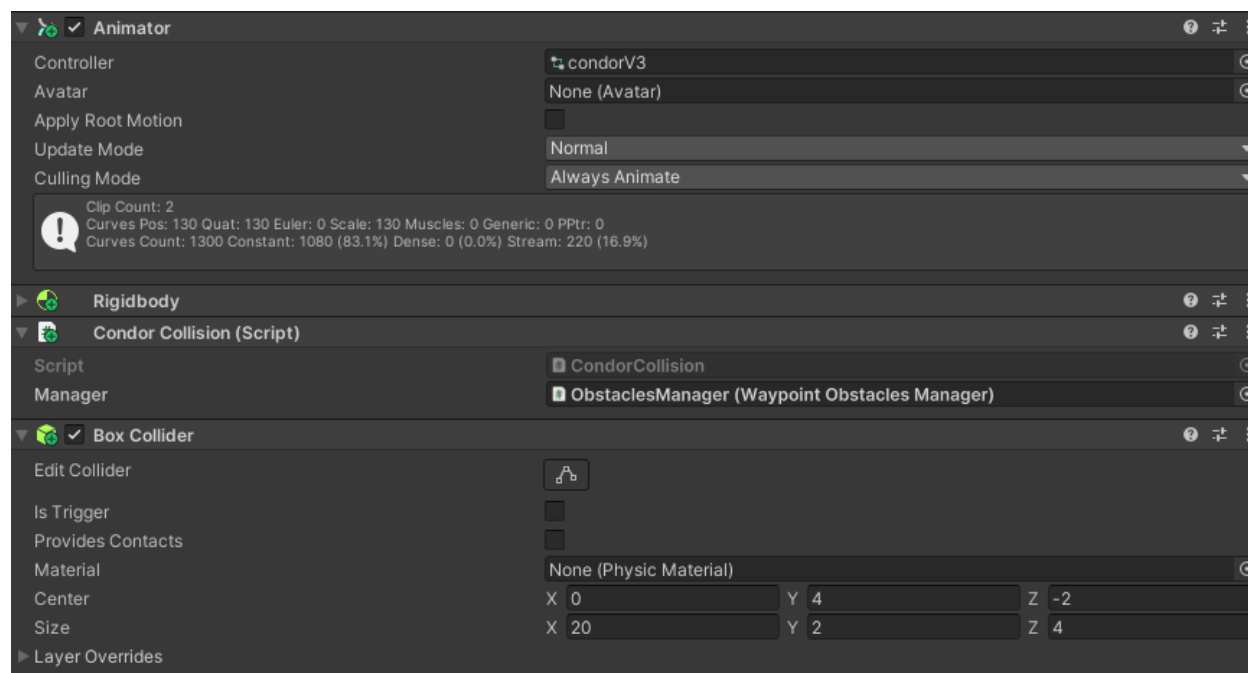


Figura 4.3: Componentes del GameObject del cóndor

4.2.4. Implementación de animaciones

Las animaciones del cóndor fueron elaboradas en Blender y posteriormente exportadas junto con el modelo 3D y el esqueleto para su integración en Unity. Para la narrativa del videojuego se desarrollaron animaciones como volar, iniciar vuelo, ser impactado por un rayo, caer y retomar el vuelo después de la caída. Además, se crearon otras animaciones complementarias como saludar, mover el cuello, las alas, el pico y las garras, con el propósito de apoyar la introducción del cóndor y resaltar algunas de sus características más representativas.

Una vez finalizadas las animaciones, se implementaron controladores de animación según las necesidades de cada escena y de cada personaje. Por ejemplo, los controladores mostrados en la Figuras 3.21 y 3.22 se encargan de gestionar las animaciones del minijuego, donde el cóndor marrón utiliza las animaciones de iniciar vuelo y volar, mientras que el cóndor negro ejecuta la animación de caída. Ambos controladores cuentan con una variable de tipo *trigger*, la cual es activada mediante scripts y permite iniciar las animaciones correspondientes dentro del minijuego.

Adicionalmente, las cinemáticas relacionadas con la narrativa del cuento y la explicación de las características del cóndor también hacen uso de controladores de animación. Como se observa en la Figura 4.4, se implementó un controlador para el cóndor marrón en el que las animaciones cambian según el momento de la secuencia temporal de la escena, permitiendo sincronizar los movimientos del personaje con la narración y los eventos visuales de la experiencia.

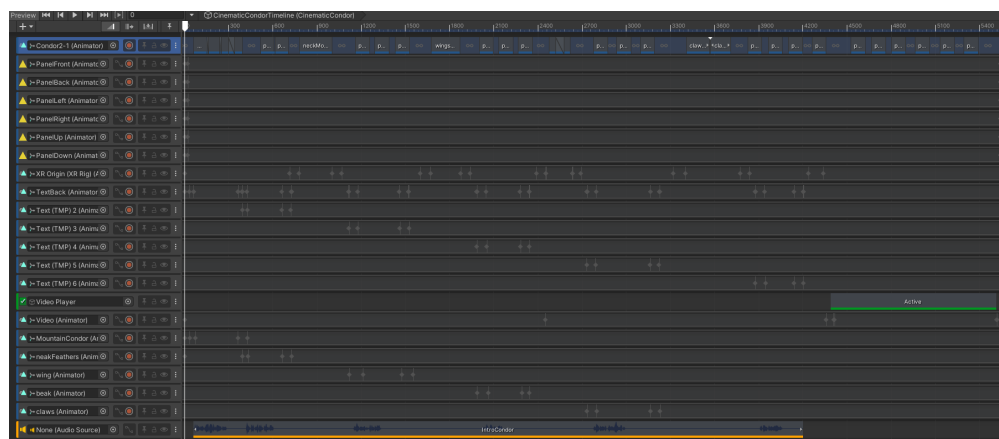


Figura 4.4: Timeline de la presentación del cóndor

4.3. Manejo de escenas

Para la implementación del prototipo se decidió dividir la experiencia en distintas escenas, correspondientes a las planteadas en el [Anexo B](#), con el fin de mantener una estructura organizada y asignar un propósito específico a cada una de ellas. Debido a esto, el prototipo quedó conformado por 13 escenas, presentadas en la figura 4.5 de las cuales 11 corresponden a la estructura narrativa y funcional del videojuego, mientras que las 2 restantes pertenecen al menú principal y al menú de ajustes.

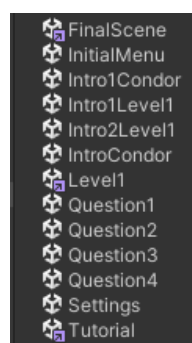


Figura 4.5: Escenas del prototipo

La primera escena con la que interactúa el niño corresponde al menú principal, donde puede seleccionar entre tres opciones: Jugar, Ajustes o Salir, como se muestra en la Figura 3.5. Al seleccionar la opción Jugar, el sistema dirige al usuario al inicio de la narrativa del videojuego. Por otro lado, la opción Ajustes permite acceder a un menú adicional en el que el niño puede elegir el tipo de movimiento con el cual desea interactuar dentro de la experiencia. Finalmente, la opción Salir

finaliza la ejecución del videojuego.

Dentro de las 11 escenas correspondientes a la narrativa del cuento se implementaron distintos tipos de experiencias, entre ellas cinemáticas, minijuegos, preguntas de comprensión y tutoriales interactivos, cada una diseñada para cumplir objetivos específicos relacionados con la narrativa, la accesibilidad y el aprendizaje. Más adelante, se explicará la escena más representativa de cada tipo, con el propósito de mostrar la implementación realizada en el prototipo. Se selecciona únicamente una escena por categoría debido a que las demás fueron desarrolladas siguiendo la misma estructura de implementación, variando únicamente los elementos visuales, narrativos e interactivos presentes en cada una.

4.3.1. Menú inicial y ajustes

Para la implementación del menú inicial y el menú de ajustes se hizo uso de escenas independientes dentro de Unity, las cuales contienen elementos de interfaz como botones, textos e imágenes diseñadas para facilitar la interacción del niño con el sistema. Estos menús permiten al usuario navegar de forma sencilla entre las diferentes opciones disponibles antes de iniciar la experiencia inmersiva.

Cada botón implementado dentro de estas escenas utiliza un script encargado de detectar la selección realizada por el usuario y ejecutar la acción correspondiente. Entre estas acciones se encuentran el inicio de la narrativa del videojuego, la apertura del menú de ajustes y la finalización de la aplicación. En el caso del menú de ajustes, los botones permiten seleccionar el tipo de control que utilizará el niño durante la experiencia, presentadas en la figura 4.7.



Figura 4.6: Menú de ajustes

4.3.2. Escenas tipo cinemática

Para la implementación de las cinemáticas se hizo uso de un *GameObject* con los componentes que se pueden observar en la figura 4.7, entre ellos un *Playable Director*, encargado de reproducir las secuencias creadas mediante la herramienta *Timeline* de Unity. Este componente permite controlar la duración, reproducción y sincronización de elementos como animaciones, movimientos de cámara, audios, diálogos y transiciones dentro de cada escena narrativa.

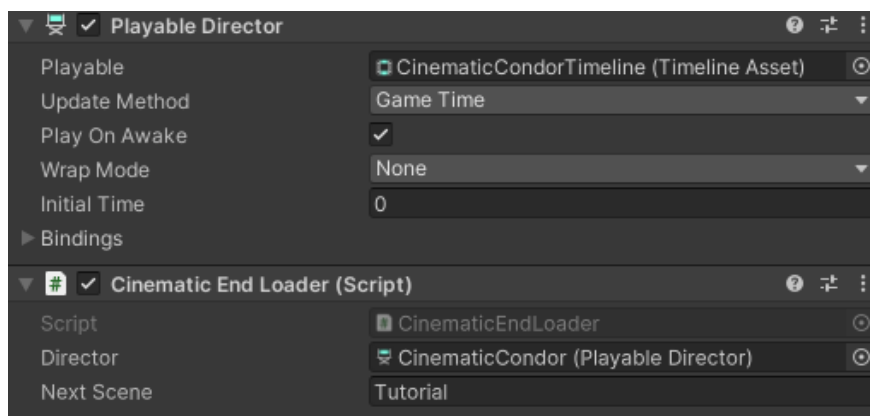


Figura 4.7: Componentes del timeline de la escena presentación del cóndor

Adicionalmente, se implementó el script *Cinematic End Loader*, el cual tiene la función de detectar cuándo finaliza la reproducción del *Timeline* para ejecutar automáticamente la transición hacia la siguiente escena correspondiente. Esto permitió mantener una secuencia continua dentro de la narrativa del videojuego y facilitar la organización de las cinemáticas dentro del flujo general de la experiencia.

Por último, dentro del *Timeline* se organizan y sincronizan los diferentes elementos que participan en la escena, permitiendo controlar tanto la aparición y desaparición de objetos como sus movimientos y animaciones. De esta manera, es posible coordinar las acciones de personajes, cámaras, audios y demás elementos de la cinemática en una misma línea temporal, facilitando la construcción de secuencias narrativas dentro del prototipo.

4.3.3. Escenas tipo cinemáticas interactivas

Para la implementación de las cinemáticas interactivas se hizo uso de lo mencionado anteriormente en 4.3.2, añadiendo elementos de interacción como botones y, principalmente, un componente *Signal Receiver*, el cual es el encargado de detectar las señales enviadas desde el *Timeline* para ejecutar eventos específicos durante la reproducción de la cinemática.

Esto permitió pausar la secuencia narrativa en momentos determinados para habilitar interacciones del usuario, como responder preguntas o esperar a que el niño realice el movimiento indicado o presione el botón correspondiente dentro del tutorial interactivo. Una vez realizada la interacción correspondiente, el sistema reanuda mediante el uso de scripts la reproducción de la cinemática, manteniendo la continuidad de la experiencia narrativa dentro del prototipo.

4.3.4. Escenas tipo minijuego

Para la implementación del minijuego se elaboró una escena interactiva orientada al cumplimiento de los objetivos pedagógicos y narrativos planteados para el prototipo. Para ello, se hizo uso de distintos scripts, como *Waypoint Obstacle Manager*, *Waypoint Controller* y *Start Fly Controller*, además de *GameObjects* relevantes como *XR Origin*, *ObstaclesManager*, *WayPoints*, entre otros.

Inicialmente, se desarrolló el sistema de desplazamiento principal del cóndor a través de la montaña. Para esto, se crearon *GameObjects* vacíos que funcionan como *Waypoints*, los cuales definen la trayectoria que debe seguir el personaje durante el minijuego. Mediante el script *Waypoint Controller*, la cámara junto con el cóndor se desplazan linealmente desde el *waypoint* actual hacia el siguiente, tomando un nuevo *Waypoint* como objetivo al llegar a cada punto. Este proceso continúa hasta alcanzar el último *waypoint*, momento en el cual el minijuego finaliza y se pasa hacia la siguiente escena.

Una vez implementado el movimiento vertical a través de la montaña, se añadió el movimiento horizontal necesario para esquivar los rayos presentes en el recorrido. Esta funcionalidad fue integrada dentro del mismo script encargado del desplazamiento principal. Inicialmente, el movimiento horizontal se implementó únicamente mediante dos botones de los controles de las Meta Quest 3S. Posteriormente, se decidió incorporar formas de interacción más inmersivas, incluyendo el movimiento físico de los brazos del niño y el uso de las palancas de los controles. Como resultado, el prototipo terminó incorporando distintos tipos de control para facilitar la accesibilidad y adaptación del usuario.

Después de implementar el sistema de movimiento, se añadieron los rayos que funcionan como obstáculos dentro del recorrido del cóndor. Para esto, se utilizó el script *Waypoint Obstacle Manager*, encargado de posicionar cinco rayos entre los *Waypoints* 3 y 11, dejando una separación entre cada obstáculo. La posición lateral de cada rayo se determina de forma aleatoria, pudiendo aparecer tanto a la izquierda como a la derecha del recorrido.

Cuando el niño logra esquivar correctamente un rayo, el sistema incrementa el contador de rayos superados. En caso contrario, si el jugador impacta el obstáculo por primera vez, el sistema retrocede al cóndor dos *waypoints* atrás, muestra un mensaje indicando que debe volver a intentarlo y activa un temporizador de tres segundos antes de reanudar el movimiento. Si el jugador vuelve a impactar el mismo rayo por segunda vez, el sistema reduce la velocidad de desplazamiento del

cóndor, facilitando así la continuidad de la experiencia y evitando generar frustración en el niño.

4.4. Tipo de movimientos

Como se mencionó en 4.3.4, en el minijuego se implementaron tres opciones de movimiento para controlar al cóndor, las cuales pueden seleccionarse desde el menú de ajustes según la preferencia o comodidad del usuario. Además, el tutorial interactivo cambia dinámicamente dependiendo del tipo de movimiento seleccionado, mostrando instrucciones y ejemplos visuales específicos para cada modalidad de control.

La primera opción corresponde al Movimiento con las manos. En esta modalidad, el niño debe extender el brazo que sostiene el control y moverlo hacia la dirección en la que desea desplazar al cóndor dentro del entorno virtual. El desplazamiento se calcula utilizando la orientación del control respecto al eje horizontal. Para ello, se emplea la función *Vector3.Dot*, la cual permite identificar si la mano del usuario está inclinada hacia la derecha o hacia la izquierda. Cuando la inclinación supera un valor determinado, el sistema interpreta la dirección del movimiento y desplaza al cóndor. Esta opción busca generar una interacción más inmersiva y física, permitiendo que el movimiento del personaje se relacione directamente con el movimiento corporal del usuario.

La segunda opción es Movimiento con botones. En este caso, el niño debe presionar uno de los botones previamente definidos en los controles de las Meta Quest 3S. Dependiendo de la dirección a la que se quiera mover, deberá utilizar el botón correspondiente del control izquierdo o derecho. El desplazamiento lateral se calcula leyendo la presión ejercida sobre los botones asignados, facilitando así una interacción más sencilla y precisa.

Por último, se implementó la opción Movimiento con palanca, en la cual el usuario controla el desplazamiento horizontal del cóndor mediante la palanca del control derecho. El sistema obtiene directamente el valor horizontal de la palanca del control mediante el sistema de *Input Actions* de Unity. Dependiendo de la dirección en la que el usuario mueva la palanca, el cóndor se desplaza hacia dicha dirección. Esta modalidad ofrece un sistema más tradicional dentro de los videojuegos y puede resultar más familiar para algunos usuarios.

Finalmente, independientemente del tipo de control utilizado, el sistema limita el valor máximo del movimiento horizontal y restringe el desplazamiento del cóndor dentro de unos límites definidos en el escenario. Esto evita que el jugador salga del área de juego y garantiza un control más estable durante el minijuego.

4.5. Audio del prototipo

El audio se implementó haciendo uso de *GameObjects* que poseen un componente clave para la reproducción de sonido denominado *Audio Source*. Este componente permite modificar distintos

parámetros relevantes para el desarrollo del proyecto, como el volumen, la espacialidad del audio (2D o 3D) y las distancias mínima y máxima a las que puede escucharse el sonido dentro del entorno virtual. En el prototipo se implementaron distintos tipos de audio, incluyendo narraciones, diálogos, efectos sonoros y sonidos de ambientación.

Para controlar la reproducción de los audios se utilizaron diferentes estrategias dependiendo del tipo de escena. En las escenas tipo cinemática, los audios son controlados mediante el *Timeline*, de la misma forma en que se sincronizan otros elementos narrativos mencionados anteriormente en la sección 4.3.2. Esto permitió coordinar diálogos, sonidos y movimientos dentro de una misma línea temporal.

En el caso de las cinemáticas interactivas, el *Timeline* sigue teniendo el control de cuándo se reproduce y se pausa el audio. Sin embargo, mediante un script se define dinámicamente qué audio debe reproducirse dependiendo del tipo de movimiento seleccionado por el niño. Por ejemplo, si el jugador seleccionó Movimiento con las manos, el tutorial debe explicar tanto visual como auditivamente este tipo de movimiento.

Por otro lado, en la escena del minijuego el control de la mayoría de los audios lo tienen únicamente los scripts, los cuales determinan cuándo se debe reproducir un diálogo o un efecto de sonido como los rayos. Aunque no todos los audios son controlados por scripts, algunos deben permanecer sonando durante toda la escena, como aquellos relacionados con la ambientación, por ejemplo el sonido del viento o el agua, los cuales tienen el propósito de reforzar la inmersión.

Pruebas y Resultados

5.1. Plan de Pruebas

El plan de pruebas define el alcance, los participantes, el procedimiento y los instrumentos de evaluación utilizados para verificar el cumplimiento de los requisitos del prototipo de realidad virtual y valorar su pertinencia pedagógica y accesibilidad para niños con diversidad sensorial auditiva y visual, en el marco del Instituto para Niños Ciegos y Sordos del Valle del Cauca.

La validación de un sistema para la población objetivo basado en tecnologías de realidad virtual requiere un enfoque que abarque tanto los aspectos técnicos como los pedagógicos, por ello el plan se diseñó con el objetivo de evaluar la usabilidad y accesibilidad del prototipo. Este plan considera múltiples dimensiones para garantizar que el sistema cumple con los requisitos definidos y que proporciona una experiencia enriquecedora y accesible para los usuarios, estructurando de forma progresiva desde la verificación técnica hasta la evaluación con profesionales del instituto.

5.1.1. Alcance y Objetivos de las Pruebas

El alcance de las pruebas comprende las siguientes áreas principales:

- Verificación del cumplimiento de los requisitos funcionales y no funcionales del prototipo, evaluando la correcta presentación de la narrativa, los subtítulos, el audio y los estímulos multimodales.
- Evaluación de la accesibilidad de la experiencia para niños con diversidad sensorial auditiva y visual, considerando el contraste visual, la claridad del audio y la efectividad de la retroalimentación háptica.
- Valoración de la usabilidad del sistema por parte de profesionales del Instituto para Niños Ciegos y Sordos del Valle del Cauca, incluyendo la comprensión del tutorial, la claridad de las instrucciones y la facilidad de interacción con los controles de las Meta Quest 3S.
- Evaluación de la pertinencia pedagógica del prototipo, verificando que la narrativa, las mecánicas de juego y las preguntas de comprensión sean adecuadas para niños entre 5 y 12 años.
- Verificación del rendimiento técnico del prototipo durante la sesión, observando la fluidez de la experiencia y la ausencia de interrupciones o efectos adversos.

Fuera del alcance:

- Evaluación del impacto cognitivo, lingüístico o emocional a largo plazo en los niños, ya que requiere estudios longitudinales con la población objetivo.
- Pruebas directas con niños en esta fase, dado que la evaluación se limitó a profesionales del instituto como evaluadores expertos del prototipo.

5.1.2. Procedimiento

Se realizó una visita al Instituto para Niños Ciegos y Sordos del Valle del Cauca para la ejecución de las pruebas en campo, utilizando las gafas Meta Quest 3S como dispositivo de ejecución del prototipo en su modalidad autónoma. Previo al inicio de la sesión, se realizó la instalación de la aplicación en las gafas y se configuró una proyección externa mediante un televisor, lo que permitió que todos los participantes pudieran seguir en tiempo real el desarrollo de la experiencia desde la perspectiva del jugador, independientemente de si interactuaban directamente con el dispositivo.

En total, participaron nueve (9) profesionales del instituto en la sesión de evaluación. De ellos, un grupo interactuó directamente con el prototipo utilizando las gafas Meta Quest 3S, completando la experiencia de principio a fin, mientras que los demás participaron como observadores, siguiendo la sesión a través de la proyección en el televisor. Todos los participantes, tanto quienes jugaron directamente como quienes observaron, diligenciaron el formulario de evaluación al finalizar la sesión, aportando su retroalimentación experta en relación con la accesibilidad, la usabilidad y la pertinencia pedagógica del sistema.

Este enfoque permitió recoger perspectivas complementarias: la experiencia directa de quienes interactuaron con el dispositivo y la visión externa de quienes observaron la sesión, enriqueciendo así la retroalimentación recibida y orientando los ajustes necesarios para garantizar que la experiencia resulte adecuada para el público objetivo final.

Posterior a la sesión, diligenciaron un formulario de evaluación en el que calificaron distintos aspectos del prototipo y dejaron sus observaciones cualitativas. El formulario aplicado se encuentra disponible en el [Anexo E](#)

5.2. Validación de Requisitos

La verificación del prototipo se llevó a cabo a partir de los requisitos establecidos en la sección 3.2.8, contrastando cada criterio de éxito con lo observado durante la sesión de pruebas en el instituto y con la retroalimentación proporcionada por los profesionales participantes. Para cada requisito se registró si fue satisfecho, indicando las evidencias que sustentan dicha conclusión.

5.2.1. Requisitos Funcionales

Cuadro 5.1: Validación de Requisitos Funcionales

RF	Criterio de éxito	Validación (Observación / Profesional)
RF01	El audio se reproduce sin distorsiones y los subtítulos están sincronizados con alto contraste.	Verificado mediante observación directa. Los profesionales confirmaron la claridad del audio y la legibilidad de los subtítulos.
RF02	El nivel cuenta con apoyos auditivos, visuales y hápticos adecuados para niños con diversidad sensorial de 5 a 12 años.	Verificado con acompañamiento de profesionales. El promedio de calificación sobre accesibilidad del sistema fue 4.67/5.
RF03	Las preguntas se presentan con audio, subtítulos y apoyo visual, con contraste adecuado y lenguaje apropiado para la edad.	Los profesionales calificaron la adecuación de las preguntas para la edad con 4.89/5. Se verificó la sincronización y legibilidad.
RF04	Las instrucciones de cada nivel se presentan mediante narración clara, subtítulos sincronizados e imágenes de apoyo.	El tutorial y las instrucciones obtuvieron una calificación promedio de 4.78/5 en comprensión de controles y mecánicas.
RF05	El nivel posee al menos tres elementos representativos del hábitat del cóndor andino.	Verificado por observación: el entorno integra montañas, árboles y río representativos de la Cordillera de los Andes. Cumplido.
RF06	Se muestra un tutorial al inicio de la experiencia que explica controles y mecánicas mediante audio y apoyo visual.	Verificado mediante observación directa. Los profesionales confirmaron la comprensión del tutorial. Calificación 4.78/5.
RF07	El sistema genera al menos un tipo de retroalimentación sensorial en todas las acciones clave del juego.	Los estímulos auditivos, visuales y hápticos obtuvieron una calificación promedio de 4.56/5 como apoyo a la experiencia.

5.2.2. Requisitos No Funcionales

Cuadro 5.2: Validación de Requisitos No Funcionales

RNF	Nombre	Criterio de éxito	Validación (Observación / Profesional)
RNF01	Rendimiento	El sistema se debe observar a una velocidad de reproducción fluida durante más del 90 % del tiempo de ejecución.	Verificado mediante observación: no se reportaron interrupciones ni síntomas de baja fluidez durante la sesión. Ningún profesional reportó mareos.
RNF02	Usabilidad – Accesibilidad visual	El sistema es accesible mediante contraste fuerte, diseños minimalistas y espacialización del sonido.	Los profesionales calificaron el contraste visual con 4.44/5. La interacción sin dificultad obtuvo 4.67/5.
RNF03	Usabilidad – Claridad de interacción	El usuario identifica las interacciones de forma sencilla en un tiempo aproximado menor a 15 segundos.	Parcialmente cumplido. Durante la sesión, algunos profesionales que interactuaron directamente con el dispositivo requirieron una explicación adicional para comprender ciertas instrucciones de movimiento antes de ejecutarlas correctamente. A partir de esta observación se identificaron ajustes en la claridad de las instrucciones como área de mejora para futuras iteraciones.
RNF04	Compatibilidad	El sistema se ejecuta en las gafas Meta Quest 3S de forma autónoma o mediante conexión a computador compatible.	Verificado: la aplicación se ejecutó de forma autónoma en las Meta Quest 3S durante toda la sesión sin errores de compatibilidad.
RNF05	Mantenibilidad	El sistema está construido con estructura modular que permite modificar componentes sin afectar el funcionamiento global.	La estructura modular del sistema fue revisada y verificada por el director del proyecto, el Dr. Andrés Adolfo Navarro Newball, quien confirmó que el prototipo permite la modificación de componentes específicos sin afectar el funcionamiento global de la experiencia.

5.3. Ejecución de las Pruebas

Las pruebas se realizaron en las instalaciones del Instituto para Niños Ciegos y Sordos del Valle del Cauca, con la participación de nueve (9) profesionales del instituto, quienes en un grupo probaron el prototipo de principio a fin bajo condiciones supervisadas por el equipo de desarrollo. A continuación se presentan imágenes ilustrativas de la ejecución de las pruebas en el instituto, mostrando la interacción de los profesionales con el prototipo.



Figura 5.1: Profesional 1 interactuando con el prototipo bajo observación del equipo de desarrollo.



Figura 5.2: Profesional 2 interactuando con el prototipo bajo observación del equipo de desarrollo.

Cada profesional realizó la experiencia de forma individual, completando el recorrido informativo del cóndor, el tutorial de controles, la mecánica principal de esquivar rayos y la pregunta de comprensión. Posterior a la sesión, diligenciaron un formulario de evaluación en el que calificaron distintos aspectos del prototipo y dejaron sus observaciones cualitativas.

5.4. Resultados de las Pruebas

A continuación se presentan los resultados cuantitativos y cualitativos obtenidos a partir del formulario de evaluación aplicado a los nueve (9) profesionales del Instituto para Niños Ciegos y Sordos del Valle del Cauca que participaron en la sesión de pruebas.

5.4.1. Resultados Cuantitativos – Encuesta a Profesionales

El formulario de evaluación comprendió preguntas de calificación en escala de 1 a 5 sobre distintos aspectos del prototipo. Los resultados obtenidos se presentan en el Cuadro 5.3.

Cuadro 5.3: Resultados cuantitativos de la evaluación

Aspecto evaluado	Calificación promedio (1–5)	Distribución destacada
El niño puede interactuar sin dificultad	4.67	66.7 % calificó 5 / 33.3 % calificó 4
El contraste visual es adecuado	4.44	55.6 % calificó 4 / 44.4 % calificó 5
El audio es claro y comprensible	4.89	88.9 % calificó 5 / 11.1 % calificó 4
Los estímulos (auditivos/visuales/hápticos) apoyan la experiencia	4.56	55.6 % calificó 5 / 44.4 % calificó 4
Las preguntas son adecuadas para la edad	4.89	88.9 % calificó 5 / 11.1 % calificó 4
La experiencia promueve la comprensión y participación del niño mediante la narrativa interactiva	4.78	77.8 % calificó 5 / 22.2 % calificó 4
El sistema es accesible para niños con diversidad sensorial	4.67	66.7 % calificó 5 / 33.3 % calificó 4
El tutorial y las instrucciones permiten comprender adecuadamente el uso de los controles y mecánicas del juego	4.78	77.8 % calificó 5 / 22.2 % calificó 4
Experiencia general del prototipo	5.00	100 % calificó 5

Los resultados evidencian una valoración muy positiva del prototipo en todos los aspectos

evaluados. El aspecto con mayor calificación fue la experiencia general (5.00/5, con el 100 % de los profesionales otorgando la máxima calificación), seguido por la claridad del audio y la adecuación de las preguntas para la edad (ambos con 4.89/5). El aspecto con calificación más baja fue el contraste visual (4.44/5), lo cual indica que, si bien fue bien evaluado, existe una oportunidad de mejora en este criterio específico.

5.4.2. Resultados Cualitativos – Aspectos Positivos Destacados

En respuesta a la pregunta “¿Qué aspectos del prototipo considera más positivos en términos de accesibilidad, interacción o experiencia educativa?”, los profesionales destacaron los siguientes elementos:

- La experiencia educativa y el preámbulo informativo sobre el cóndor, que permite al niño conocer realmente el animal antes de iniciar el juego.
- La narración y su relación con los apoyos visuales (subtítulos e imágenes).
- El diseño, el tutorial y la narrativa como elementos bien integrados.
- La interacción adaptada al contexto narrativo del cuento.
- El lenguaje sencillo y su relación con las preguntas de comprensión.
- El movimiento corporal permitido por el dispositivo y la introducción sobre el animal, que contextualiza al niño.
- El alto nivel de interactividad del prototipo.

5.4.3. Resultados Cualitativos – Aspectos a Mejorar

En respuesta a la pregunta “¿Qué aspectos del prototipo considera que deberían mejorarse en relación con la accesibilidad, narrativa, interfaz o mecánicas de interacción?”, los profesionales señalaron las siguientes observaciones:

- Corrección de tildes en algunas palabras del texto del prototipo.
- Ampliar la duración del vuelo en la mecánica de esquivar rayos.
- Incorporar un tutorial específico para el movimiento de esquivar los truenos, con símbolos más visibles y una instrucción verbal que los mencione explícitamente.
- Mayor claridad en las instrucciones de movimiento (por ejemplo, indicar “mover el brazo” en lugar de “mover la mano”).
- Aumentar las inflexiones en la voz del narrador para mayor expresividad.
- Revisar la señalización de los elementos interactivos (ortografía y señales visuales).

5.4.4. Valoración General de la Experiencia como Apoyo Educativo

Los nueve profesionales que participaron en la evaluación respondieron afirmativamente a la pregunta “¿Considera que la experiencia resulta adecuada como apoyo educativo e interactivo para los niños?”, justificando su respuesta de la siguiente manera:

- Permite una experiencia significativa que facilita que el niño se divierta mientras aprende.
- Es adecuada como apoyo interactivo, ya que permite verificar la comprensión mediante preguntas y proporciona un buen contexto del juego.
- Les permite comprender mejor el contexto en el que se desarrolla el cuento.
- Complementa el trabajo narrativo y de comprensión a partir del cuento.
- Facilita la descripción y se apoya con la imagen para reforzar el aprendizaje.
- Permite interactuar con temáticas a través de la tecnología, que es un método atractivo para los niños.

5.5. Análisis de Resultados

Los resultados obtenidos en la evaluación con profesionales del Instituto para Niños Ciegos y Sordos del Valle del Cauca evidencian que el prototipo cumple satisfactoriamente con los criterios de accesibilidad, usabilidad y pertinencia pedagógica establecidos en los requisitos del proyecto.

En términos de accesibilidad, los aspectos auditivos del prototipo recibieron las calificaciones más altas. La claridad del audio refleja que el trabajo de narración y los estímulos sonoros fueron bien ejecutados y resultan comprensibles para el público objetivo. Del mismo modo, la adecuación de las preguntas para la edad confirma que el diseño del contenido de comprensión es pertinente y accesible para niños entre 5 y 12 años con diversidad sensorial.

El contraste visual, aunque evaluado de forma positiva, resultó ser el aspecto con mayor oportunidad de mejora. Este resultado es coherente con algunas de las observaciones cualitativas recibidas, en las que los profesionales sugirieron aumentar la visibilidad de ciertos elementos del juego. Este aspecto será considerado en futuras iteraciones del prototipo.

La accesibilidad general del sistema para niños con diversidad sensorial y la capacidad del usuario para interactuar sin dificultad reflejan que el diseño inclusivo del prototipo, basado en retroalimentación multimodal (auditiva, visual y háptica), responde adecuadamente a las necesidades de la población objetivo. Los estímulos multisensoriales obtuvieron una calificación de 4.56/5, lo que indica que su integración en la experiencia es percibida como un apoyo efectivo.

La comprensión narrativa y la participación promovida por la experiencia interactiva confirman que la integración del cuento “*El cóndor que aprendió a volar*” en el entorno de realidad virtual resulta significativa pedagógicamente. Esta valoración, junto con la percepción unánime de que la experiencia es adecuada como apoyo educativo e interactivo, valida el enfoque del proyecto en cuanto a la combinación de narrativa, gamificación y accesibilidad.

Finalmente, la calificación general de la experiencia (5.00/5, con el 100 % de los profesionales otorgando la máxima puntuación) representa el resultado más contundente de la evaluación, evidenciando que el prototipo logró una recepción plenamente satisfactoria entre los evaluadores expertos. Este resultado confirma que el prototipo cumple con el objetivo general del proyecto y con los criterios de éxito establecidos en la sección 3.2.8.3.

Las sugerencias de mejora recogidas en las preguntas abiertas del formulario constituyeron insumos valiosos que fueron atendidos de forma inmediata. A partir de la retroalimentación recibida se realizaron ajustes al prototipo que incluyeron la corrección ortográfica de textos presentes en la interfaz, la modificación del tutorial para mejorar la comprensión de las instrucciones de interacción, y el ajuste en la forma de indicar los movimientos requeridos al usuario para mayor claridad. Estos cambios reflejan el valor del proceso iterativo de validación adoptado en el proyecto. La ampliación de la mecánica de vuelo, si bien fue identificada como una oportunidad de mejora, no pudo ser implementada dentro del alcance temporal del proyecto y queda registrada como línea de trabajo futuro.

Conclusiones y Trabajo Futuro

6.1. Conclusiones

El desarrollo del prototipo de experiencia inmersiva en realidad virtual basado en el cuento *“El cóndor que aprendió a volar”* permitió cumplir con los objetivos planteados al inicio del proyecto. Se logró adaptar la narrativa del cuento a un entorno interactivo de realidad virtual, integrando criterios de accesibilidad auditiva, visual y háptica orientados a niños entre 5 y 12 años con diversidad sensorial del Instituto para Niños Ciegos y Sordos del Valle del Cauca.

La evaluación realizada con profesionales del instituto evidenció una recepción plenamente satisfactoria del prototipo, obteniendo una calificación general de 5.00/5 y valoraciones altas en todos los criterios evaluados, lo que valida la pertinencia pedagógica y la accesibilidad del sistema desarrollado. La retroalimentación recibida durante las pruebas resultó fundamental para identificar ajustes concretos que fueron implementados en el prototipo, demostrando la efectividad del enfoque iterativo adoptado mediante la metodología SCRUM.

La integración de narrativa, gamificación y accesibilidad multimodal en un entorno de realidad virtual demostró ser un enfoque viable y adecuado para generar experiencias educativas inclusivas. El acompañamiento continuo de los profesionales del instituto a lo largo del desarrollo fue determinante para garantizar que las decisiones de diseño respondieran a las necesidades reales de la población objetivo.

Finalmente, el proyecto contribuye al fortalecimiento del proyecto colaborativo Colombia-Quebec, aportando un prototipo funcional y documentado que sirve como base técnica y conceptual para la virtualización de los cuentos restantes del mismo conjunto narrativo.

6.2. Trabajo Futuro

A partir de los resultados obtenidos y las observaciones recogidas durante las pruebas, se identifican las siguientes líneas de trabajo futuro:

- **Ampliación de la mecánica de vuelo:** Extender la duración del segmento de vuelo en el minijuego implementado para enriquecer la experiencia inmersiva y aumentar el tiempo de interacción del niño con el entorno.

- **Implementación de más minijuegos:** Desarrollar los minijuegos restantes planteados durante el proyecto, los cuales, a diferencia del primero, no están directamente ligados a la narrativa del cuento sino que representan propuestas de expansión libre de la experiencia inmersiva, complementando así el prototipo hacia una experiencia más completa.
- **Pruebas directas con niños:** Realizar sesiones de evaluación con el público objetivo real, es decir, niños entre 5 y 12 años con diversidad sensorial del instituto, con el fin de medir el impacto pedagógico y cognitivo de la experiencia de manera directa.
- **Mayor expresividad en la narración:** Incorporar mayores inflexiones en la voz del narrador para enriquecer la experiencia auditiva, favorecer la comprensión y participación activa de los niños.

Bibliografía

- [1] O. M. de la Salud (OMS). “Ceguera y discapacidad visual”. [Internet]. Disponible en: <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/blindness-and-visual-impairment> (Accedido: 2025-08-23).
- [2] O. M. de la Salud (OMS). “Sordera y pérdida de la audición”. [Internet]. Disponible en: <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/Deafness-and-hearing-loss> (Accedido: 2025-08-23).
- [3] I. N. para Ciegos (INCI). “Inci conoce de manera oficial la cifra del censo de discapacidad”. [Internet]. Disponible en: <https://www.inci.gov.co/blog/inci-conoce-de-manera-oficial-la-cifra-del-censo-de-discapacidad> (Accedido: 2025-08-23).
- [4] I. N. para Sordos (INSOR). “Preguntas frecuentes”. [Internet]. Disponible en: <https://www.insor.gov.co/home/preguntas-frecuentes/> (Accedido: 2025-08-23).
- [5] I. N. para Sordos (INSOR). “Población sorda en cifras”. [Internet]. Disponible en: <https://www.insor.gov.co/home/poblacion-sorda-en-cifras/> (Accedido: 2025-08-23).
- [6] S. de Bienestar Social. “30 de septiembre, día internacional de la persona sorda”. [Internet]. Disponible en: <https://www.cali.gov.co/bienestar/publicaciones/156451/30-de-septiembre-dia-internacional-de-la-persona-sorda/> (Accedido: 2025-08-23).
- [7] S. de Bienestar Social. “Un total de 350 personas con discapacidad visual recibieron su bastón para poder movilizarse”. [Internet]. Disponible en: <https://www.cali.gov.co/bienestar/publicaciones/149311/un-total-de-350-personas-con-discapacidad-visual-recibieron-su-baston-para-poder-movilizarse/> (Accedido: 2025-08-23).
- [8] I. para Niños Ciegos y Sordos. “Instituto para niños ciegos y sordos – buscamos luz en la sombra y palabra en el silencio”. [Internet]. Disponible en: <https://ciegosysordos.org.co/> (Accedido: 2025-08-23).
- [9] A. C. Bustos and J. José, “Videojuego hipermedia estímulos sonoros para adultos y ciegos,” *VMIDEA*, vol. 1, no. 6, pp. 44–47, Jan. 2018, doi: <https://doi.org/10.33132/24631302.1480>.
- [10] G. Yildirim, M. Elban, and S. Yildirim, “Analysis of use of virtual reality technologies in history education: A case study,” *European Journal of Education Studies*, vol. 4, no. 2, pp. 62–69, Jun. 2018, doi: [10.20448/journal.522.2018.42.62.69](https://doi.org/10.20448/journal.522.2018.42.62.69).
- [11] M. A. Martínez-Sarmiento, “Percepción de los docentes de aula sobre la educación inclusiva desde una experiencia en colombia [classroom teachers’ perceptions of inclusive education from

- a colombian experience],” *Revista Multidisciplinaria Perspectivas Investigativas*, vol. 4, no. 4, pp. 38–59, Oct. 2024, doi: [10.62574/rmpi.v4i4.227](https://doi.org/10.62574/rmpi.v4i4.227).
- [12] M. T. García Eligio de la Puente and R. F. Bell Rodríguez, “Discapacidad visual y auditiva. conceptos, características e implicaciones,” *Prohominum. Revista de Ciencias Sociales y Humanas*, vol. 5, no. 3, 2023, doi: [10.47606/ACVEN/PH0193](https://doi.org/10.47606/ACVEN/PH0193).
- [13] I. E. Zambrano Mera and L. Chancay García, “Impacto de las tecnologías digitales en el aprendizaje y la enseñanza en entornos educativos,” *Qualitas Revista Científica*, vol. 28, no. 28, pp. 054–068, Jul. 2024, doi: [10.55867/qual28.04](https://doi.org/10.55867/qual28.04).
- [14] N. Fernandez Nunez, L. F. González Manpotes, M. F. Betancourt, and N. M. Gómez, “Participación infantil y narrativa oral, recursos pedagógicos fortalecedores socio-afectivos para una fundación de comuna cuatro, soacha,” *EVSOS*, vol. 2, no. 4, pp. 47–63, Jul. 2024, doi: [10.57175/evsos.v2i4.159](https://doi.org/10.57175/evsos.v2i4.159).
- [15] W. C. Bolaños Sinche, K. A. Lozano Quinto, C. F. Ponce Loaiza, and B. E. Perero Borbor, “Innovación pedagógica mediante el uso de herramientas digitales interactivas en la educación secundaria,” *Reincisol*, vol. 4, no. 7, pp. 4311–4332, Jun. 2025, doi: [10.59282/reincisol.V4\(7\)4311-4332](https://doi.org/10.59282/reincisol.V4(7)4311-4332).
- [16] R. Visa, “Las tic’s como herramientas de accesibilidad a los entornos virtuales de aprendizaje para personas con diversidad funcional,” *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, vol. 8, no. 2, pp. 4891–4901, May 2024, doi: https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v8i2.10905.
- [17] M. A. Pinargote Castro, “El rol de la realidad virtual en la educación superior,” *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, vol. 8, no. 3, pp. 9037–9045, Jul. 2024, doi: https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v8i3.12061.
- [18] O. G. Lautaru and B. LoresGómez, “Inteligencia artificial y gamificación en educación: Revisión sistemática,” in *Transformació Digital de l’Educació a l’Era de la Intel·ligència Artificial: Una Revolució Imparable*, C. Valls Bautista, J. Holgado García, L. Marqués Molías, and M. Usart Rodríguez, Eds. Madrid: Dykinson S.L, 2024, pp. 141–150, doi: <https://doi.org/10.14679/3545>.
- [19] B. J. Parmar et al, “Virtual reality games for spatial hearing training in children and young people with bilateral cochlear implants: the “both ears (bears)” approach,” *Frontiers in Neuroscience*, vol. 18, p. 1491954, 2024, doi: <https://doi.org/10.3389/fnins.2024.1491954>.
- [20] L. A. Salazar Gómez and G. E. Salazar Muñoz, “Colaborafari vr. creación de un entorno virtual colaborativo por medio de un safari para fomentar el aprendizaje sobre los animales en vía de extinción en colombia,” Master’s thesis, Departamento de Ingeniería de Sistemas y Computación, Pontificia Universidad Javeriana Cali, Cali, Colombia, 2024.

-
- [21] G. Restrepo et al, “Realidades extendidas para niños sensorialmente diversos,” *IEEE Computer Graphics and Applications*, vol. 44, no. 4, pp. 26–39, Jul. 2024, doi: <https://doi.org/10.1109/MCG.2024.3419699>.
- [22] K. Schwaber and J. Sutherland, “The scrum guide,” [En línea], Nov. 2020, <https://scrumguides.org/docs/scrumguide/v2020/2020-Scrum-Guide-US.pdf> (Accedido: 2026-02-14).
- [23] S. Romero, “Cóndor andino,” National Geographic España. [En línea], Sep. 2025, disponible en: https://www.nationalgeographic.com.es/mundo-animal/condor-andino_25829 (accedido: 2026-02-16).
- [24] S. Zuluaga and O. Ospina, “Reducción poblacional del cóndor andino (*vultur gryphus*) en los andes centrales de colombia: un llamado urgente para evitar su extinción local,” *Ornitología Colombiana*, no. 18, pp. 1–12, Jul. 2021, doi: <https://doi.org/10.59517/oc.e384>.

Anexo A. Historial de Sprints

A continuación se presenta el registro de cada sprint ejecutado durante el desarrollo del proyecto, incluyendo los objetivos planteados, las actividades realizadas y la retroalimentación recibida por parte del director y los profesionales del Instituto para Niños Ciegos y Sordos del Valle del Cauca.

[Accede al los sprints aquí](#)

Anexo B. Diálogos del Prototipo

Dado que los diálogos del prototipo constituyen un documento extenso organizado por escenas, se optó por referenciarlos mediante un enlace externo en lugar de incluirlos directamente en el documento, con el fin de preservar la legibilidad y el formato del proyecto.

[Accede al diseño aquí](#)

Anexo C. Storyboard

Dado que el Storyboard es un documento visual de múltiples páginas con ilustraciones detalladas de cada escena, se optó por referenciar mediante un enlace externo en lugar de incluirlo directamente en el documento, con el fin de preservar la calidad visual del material y evitar que su inserción afecte la legibilidad y el formato del proyecto.

[Accede al Storyboard aquí](#)

Anexo D. Comparación Visual del Diseño de Interfaz

Dado que la comparación visual entre el diseño inicial propuesto en el storyboard y la versión final implementada en Unity abarca múltiples pantallas e ilustraciones, se optó por referenciarla mediante un enlace externo en lugar de incluirla directamente en el documento, con el fin de preservar la calidad visual del material y evitar que su inserción afecte la legibilidad y el formato del proyecto.

[Accede al documento aquí](#)

Anexo E. Formulario Profesionales

Dado que el formulario de evaluación aplicado a los profesionales del Instituto para Niños Ciegos y Sordos del Valle del Cauca constituye un documento externo, se optó por referenciarlo mediante un enlace en lugar de incluirlo directamente en el documento, con el fin de preservar la legibilidad y el formato del proyecto.

[Accede al formulario aquí](#)