

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

Prototipo de Videojuego en Realidad Virtual Basado en una Narrativa Para Niños con Diversidades Sensoriales

Valeria Fernanda Gustín Martínez
Maria Paula Castillo Erazo

Director: Dr. Andrés Navarro Newball

19 de Mayo del 2026



Resumen

El presente trabajo desarrolla un prototipo funcional de videojuego sensorial en realidad virtual, inspirado en el cuento infantil “¿Dónde está mi mamá jaguar?”, orientado a promover la inclusión educativa y favorecer la comprensión narrativa en niños de 5 a 12 años con diversidades visuales y/o auditivas. La propuesta busca explorar el potencial de las tecnologías inmersivas como apoyo a experiencias educativas accesibles y multisensoriales. El diseño y evaluación del prototipo se realizó en compañía de los profesionales del Instituto para Niños Ciegos y Sordos del Valle del Cauca. A partir de este trabajo colaborativo, se espera que los resultados evidencien la viabilidad del uso de realidad virtual para apoyar experiencias narrativas inclusivas dirigidas a niños con diversidades sensoriales.

Palabras Clave: realidad virtual, accesibilidad, inclusión educativa, diversidad sensorial, videojuegos educativos, narrativa interactiva.

Abstract

This work presents the development of a functional virtual reality sensory video game prototype inspired by the children's story *¿Dónde está mi mamá jaguar?*. The prototype is aimed at promoting educational inclusion and supporting narrative comprehension in children aged 5 to 12 with sensory diversity. The proposal explores the potential of immersive technologies as a means of supporting accessible and multisensory educational experiences. The design and evaluation of the prototype were carried out in collaboration with professionals from the Institute for Blind and Deaf Children of Valle del Cauca. Through this collaborative process, the results demonstrate the feasibility of using virtual reality to support inclusive narrative experiences for children with sensory diversity.

Keywords: virtual reality, accessibility, educational inclusion, sensory diversity, educational video games, interactive narrative.

Índice general

1. Descripción del Problema	9
1.1. Planteamiento del Problema	9
1.1.1. Formulación	10
1.1.2. Sistematización	10
1.2. Objetivos	11
1.2.1. Objetivo General	11
1.2.2. Objetivos Específicos	11
1.2.3. Resultados Obtenidos	11
1.3. Justificación	11
1.3.1. Utilidad	11
1.3.2. Impacto	12
1.3.3. Viabilidad	12
1.4. Delimitaciones y Alcances	12
2. Desarrollo del Proyecto	14
2.1. Marco de Teórico	14
2.1.1. Conceptos	14
2.1.2. Trabajos Relacionados	16
3. Metodología, Análisis y Diseño	19
3.1. Metodología	19
3.1.1. Plan de actividades del proyecto	19
3.1.2. Aplicación de la metodología ágil en el proyecto	21
3.2. Análisis	22
3.2.1. Contextualización del cuento base	22
3.2.2. Análisis del usuario objetivo	22
3.2.3. Análisis narrativo para la adaptación a RV	23
3.2.4. Definición de objetivos pedagógicos	24
3.2.5. Análisis funcional del sistema	25
3.2.6. Requerimientos del sistema	26
3.3. Diseño	29
3.3.1. Adaptación narrativa al entorno interactivo	29
3.3.2. Diseño de diálogos y narrativa interactiva	30
3.3.3. Diseño general del sistema	31
3.3.4. Diseño de la interacción	31
3.3.5. Diseño de mecánicas del juego	32
3.3.6. Diseño de interfaces	35

3.3.7. Modelado y diagramas del sistema	40
4. Implementación	45
4.1. Implementación	45
4.1.1. Herramientas de desarrollo	45
4.1.2. Escenas	46
4.1.3. Minijuego	50
4.1.4. Entorno inmersivo	56
4.1.5. Personajes	58
5. Pruebas y Resultados	63
5.1. Enfoque de pruebas y validación	63
5.2. Validaciones iterativas durante el desarrollo	63
5.2.1. Pruebas internas y exploratorias	64
5.2.2. Retroalimentación obtenida durante las iteraciones	65
5.3. Evaluación con profesionales del instituto	66
5.3.1. Objetivos y alcance de la evaluación	66
5.3.2. Participantes de la evaluación	67
5.3.3. Instrumento de evaluación	68
5.3.4. Resultados obtenidos	70
5.3.5. Cambios realizados a partir de la evaluación profesional	72
5.4. Validación de requisitos	74
6. Conclusiones y Trabajo Futuro	77
6.1. Conclusiones	77
6.2. Trabajo Futuro	77
Bibliografía	79
Anexos	82
A. Registro de iteraciones del desarrollo	82
B. Descripción detallada de escenas del prototipo	83
C. Storyboard del prototipo	84
D. Diálogos y narrativa interactiva del prototipo	85
E. Diagrama de flujo principal del videojuego	86

Introducción

La realidad virtual (RV) se ha posicionado en los últimos años como una de las tecnologías más prometedoras para el desarrollo de experiencias inmersivas con fines educativos, recreativos y terapéuticos. Su capacidad para simular entornos tridimensionales permite diseñar espacios interactivos que se adaptan a diferentes contextos de aprendizaje, promoviendo la inclusión y la accesibilidad para personas con diversas condiciones sensoriales.

Las personas con discapacidad se enfrentan a diferentes retos en su vida que limitan su desarrollo. Esto se hace más notorio en países como Colombia, donde existen pocas iniciativas de crear y adaptar herramientas o espacios que se adapten a las necesidades de estas personas. Por ejemplo, la divulgación de temas como la extinción de la fauna en Colombia, sigue siendo escasa para los colombianos en general, y aún más para los colombianos con discapacidad. Esto debido a las barreras existentes en la educación.

Con miras de cerrar estas brechas, el Proyecto Colaborativo Colombia-Quebec busca aprovechar las tecnologías de realidad extendida para desarrollar experiencias con un enfoque inclusivo, usando la narrativa como un método para sensibilizar sobre las especies de animales en vía de extinción.

Por tanto, el presente proyecto propone el desarrollo de un prototipo interactivo basado en el cuento “¿Dónde está mi mamá jaguar?”, el cual combina la narrativa educativa con las posibilidades inmersivas de la realidad virtual. Su objetivo principal es generar una experiencia significativa que contribuya tanto a la inclusión educativa como a la concientización sobre la conservación de la fauna colombiana en niños con diversidad sensorial.

Descripción del Problema

1.1. Planteamiento del Problema

A nivel global, en 2011 se estimó que más de 1.000 millones de personas vivían con algún tipo de discapacidad, lo que representa alrededor del 15 % de la población mundial [1]. En Colombia, según el Censo Nacional de Población y Vivienda de 2018, el 62,17 % de la población reportó alguna condición de discapacidad [2]. En Cali, el Registro de Localización y Caracterización de Personas con Discapacidad reportó 18.088 personas con discapacidad visual [3], mientras que el Ministerio de Salud y Protección Social estima que el 6 % de la población con discapacidad en Cali presenta discapacidad auditiva [4].

A pesar de la magnitud de este grupo poblacional, persisten profundas barreras en el acceso a la educación y a la información. La población con discapacidad presenta una tasa de analfabetismo casi cuatro veces mayor en comparación con quienes no tienen discapacidad [5]. Esta situación no solo restringe su participación social y cultural, sino que también limita su acercamiento a problemáticas de interés nacional, como la conservación ambiental.

Por otro lado, 1302 de las especies de fauna en el país se encuentra en alguna categoría de amenaza a nivel nacional [6], lo que evidencia la necesidad de fortalecer los procesos de sensibilización ambiental en la ciudadanía. Sin embargo, esta información suele ser poco conocida por la población en general, y aún más por las personas con discapacidad.

En este sentido, el informe de la Cumbre Global sobre Discapacidad 2025, realizada en Berlín, resalta que se requieren mayores esfuerzos e inversión, especialmente en países de ingresos medios y bajos, para garantizar una verdadera inclusión [7]. Dicho informe enfatiza la importancia de reconocer las particularidades de cada persona y brindar soluciones ajustadas a sus realidades, lo que refuerza la pertinencia de generar propuestas inclusivas en educación y sensibilización ambiental.

En esta línea, se han identificado dos necesidades principales: (i) adaptar la narrativa como método de rehabilitación y aprendizaje para niños con diversidades sensoriales, y (ii) fomentar la concientización sobre la vida silvestre en Colombia, actualmente amenazada por el tráfico ilegal y la pérdida de hábitat. En respuesta a estas problemáticas surge el Proyecto Colaborativo Colombia-Quebec [8], cuyo propósito es explorar el uso de tecnologías inmersivas como la realidad virtual y aumentada para transformar narrativas en experiencias accesibles, interactivas y educativas que apoyen procesos de rehabilitación.

Desde una perspectiva computacional, el desarrollo de experiencias inmersivas accesibles para niños con discapacidades sensoriales enfrenta importantes limitaciones técnicas y de diseño. Aunque la realidad virtual (RV) posee un potencial significativo para crear entornos educativos inclusivos, su adopción como herramienta de accesibilidad se ve restringida por barreras como la falta de integración con ayudas técnicas existentes (por ejemplo, lectores de pantalla o conmutadores adaptativos), la escasez de estándares universales de accesibilidad y la dificultad para diseñar interacciones intuitivas y multisensoriales que se adapten a las necesidades diversas de esta población[9][10]. Estas limitaciones evidencian la necesidad de desarrollar modelos de interacción multisensoriales que incorporen retroalimentación háptica, visual y auditiva adaptada, garantizando la participación efectiva de niños con diversidad sensorial en experiencias inmersivas.

En el marco del proyecto Colaborativo Colombia-Québec, se desarrollaron cinco cuentos para el Instituto para Niños Ciegos y Sordos del Valle del Cauca. Este trabajo de grado se centra en la adaptación de uno de ellos, titulado “¿Dónde está mi mamá jaguar?”, orientado a responder a las necesidades de los niños con diversidades sensoriales y, a la vez, transmitir valores y conocimientos que fortalezcan tanto su proceso de aprendizaje como la conciencia social frente al cuidado de la biodiversidad.

1.1.1. Formulación

¿Cómo desarrollar un prototipo funcional de videojuego sensorial en realidad virtual, inspirado en el cuento ‘¿Dónde está mi mamá jaguar?’, que promueva la inclusión educativa y la conciencia ambiental en niños de 5 a 12 años con diversidades visuales y/o auditivas.?

1.1.2. Sistematización

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

- ¿Qué elementos narrativos del cuento “¿Dónde está mi mamá jaguar?”, son más pertinentes para ser adaptados en un videojuego sensorial inclusivo?
- ¿Cómo se pueden diseñar mecanismos de interacción accesibles que favorezcan la participación de los niños en un entorno de realidad virtual basado en un cuento infantil?
- ¿Cómo se puede implementar un prototipo funcional en realidad virtual, basado en una narrativa infantil, que integre mecanismos de accesibilidad y retroalimentación sensorial para promover la inclusión de niños con diversidades visuales y/o auditivas?
- ¿Cómo evaluar la funcionalidad del prototipo en un entorno de realidad virtual?

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo General

Desarrollar un prototipo funcional de videojuego sensorial en realidad virtual, inspirado en el cuento ‘¿Dónde está mi mamá jaguar?’, que promueva la inclusión educativa y la conciencia ambiental en niños de 5 a 12 años con diversidades visuales y/o auditivas.

1.2.2. Objetivos Específicos

- Identificar los elementos narrativos del cuento “¿Dónde está mi mamá jaguar?”, más pertinentes para ser adaptados en un videojuego sensorial inclusivo.
- Diseñar mecanismos de interacción accesibles para favorecer la interacción de los niños en un entorno de realidad virtual basado en un cuento infantil.
- Implementar un prototipo funcional de sistema en realidad virtual, basado en una narrativa infantil, que integre mecanismos de accesibilidad y retroalimentación sensorial para favorecer la inclusión educativa de niños con diversidad visual y/o auditiva.
- Evaluar la funcionalidad del prototipo en un entorno de realidad virtual.

1.2.3. Resultados Obtenidos

El proyecto obtuvo como resultado un prototipo de videojuego en realidad virtual adaptando una narrativa para niños con diversidades sensoriales. El prototipo es funcional, y se entregó en forma de aplicación para las gafas de realidad virtual Meta Quest 3S. Adicionalmente, se realizó la entrega de una copia del código fuente del prototipo junto con la documentación correspondiente, dejándolo como un insumo abierto y reutilizable. De modo que pueda servir de base para iniciativas posteriores que busquen ampliar, adaptar o mejorar la propuesta inicial en beneficio de la educación inclusiva apoyada en tecnologías inmersivas.

1.3. Justificación

1.3.1. Utilidad

El desarrollo de este proyecto busca ofrecer una solución práctica y directa para aumentar la accesibilidad, sirviendo como recurso para la rehabilitación en niños con diversidades sensoriales. El mismo nace como una expansión del Proyecto Colaborativo Colombia-Quebec, junto con las intenciones del Instituto para Niños Ciegos y Sordos del Valle del Cauca de adaptar las narrativas en un ambiente de realidad virtual.

1.3.2. Impacto

El proyecto tiene un impacto al constituirse como una herramienta inclusiva que apoya el proceso de enseñanza a niños con diversidades sensoriales. A través de la narrativa interactiva en un entorno de realidad virtual, se promueven valores, facilitando el desarrollo de la empatía, la colaboración y el respeto por la diversidad. Asimismo, el prototipo fomentó la concientización sobre la fomentó de la fauna silvestre en peligro de extinción en Colombia, al presentar como protagonistas a animales autóctonos en riesgo. De esta manera, el proyecto no solo contribuye a la inclusión educativa, sino que también sensibiliza a los niños en torno a la conservación ambiental y cultural.

1.3.3. Viabilidad

El proyecto está respaldado por el Instituto para Niños Ciegos y Sordos del Valle del Cauca, lo que permite su evaluación con profesionales y potencial implementación como herramienta de apoyo en terapias educativas. Además, el proyecto se apoya en experiencias previas realizadas en el marco del proyecto colaborativo Colombia–Quebec, particularmente aquellas relacionadas con narrativas interactivas y tecnologías inmersivas, las cuales sirven como referencia para orientar el diseño y la implementación del sistema. Así mismo, el prototipo desarrollado sirve como inspiración para la generación de futuros proyectos académicos y tecnológicos que busquen promover la inclusión y la accesibilidad en la educación mediante el uso de la realidad virtual.

1.4. Delimitaciones y Alcances

Este proyecto se enfocó en el desarrollo de un prototipo de aplicación de software que integre realidad virtual (RV) y narrativa interactiva, tomando como base el cuento “¿Dónde está mi mamá jaguar?” para el Instituto para Niños Ciegos y Sordos del Valle del Cauca, dirigido a niños de 5 a 12 años con diversidades visuales y/o auditivas.

El propósito principal fue diseñar y construir una experiencia inmersiva, accesible e interactiva, que permita a los usuarios explorar los elementos narrativos del cuento dentro de un entorno virtual mediante el uso de cascos o visores de realidad virtual.

El alcance del proyecto estuvo limitado al diseño, implementación y validación técnica del prototipo. La evaluación no incluirá un análisis pedagógico del impacto del aprendizaje en los niños, ya que este tipo de estudio requiere un seguimiento temporal y metodológico más amplio, que excede los límites del presente trabajo. En su lugar, la validación se concentrará en aspectos de funcionalidad, realizada exclusivamente con los profesionales del Instituto para Niños Ciegos y Sordos del Valle del Cauca, quienes aportarán la retroalimentación necesaria para la mejora del prototipo.

Es sustancial anotar que, al estar enmarcado en el Proyecto colaborativo Colombia–Quebec, el trabajo cuenta con el aval ético y el consentimiento informado correspondientes, y todos los

procedimientos fueron revisados por el Comité de Ética de Investigación del Instituto (Research Ethics Committee INCS).

Desarrollo del Proyecto

2.1. Marco de Teórico

2.1.1. Conceptos

2.1.1.1. Realidad virtual

La realidad virtual es una tecnología que utiliza cascos o visores especiales para transportar al usuario a un entorno digital. Estos dispositivos crean una experiencia inmersiva, es decir, que da la sensación de estar realmente dentro de ese mundo virtual. Además, la persona no solo observa, sino que también puede interactuar con los elementos y escenarios, lo que convierte la experiencia en algo más dinámico y participativo.

“La realidad virtual inmersiva (RVI) aplicada a la educación permite concluir que esta tecnología constituye una herramienta innovadora y de alto potencial para transformar los procesos de enseñanza-aprendizaje en diversos niveles y contextos educativos.” [11]

2.1.1.2. Educación inclusiva

La educación inclusiva se entiende como un principio y una práctica orientada a garantizar que todas las personas, independientemente de sus condiciones físicas, sensoriales, cognitivas, sociales o culturales, tengan acceso a una educación de calidad en igualdad de condiciones. De acuerdo a [12], tiene el objetivo de eliminar las barreras de aprendizaje y participación, adaptando los métodos pedagógicos, los recursos educativos y los entornos escolares para responder a las necesidades diversas de cada estudiante.

2.1.1.3. Narrativa interactiva

La narrativa interactiva es un tipo de relato que brinda al lector o usuario la posibilidad de decidir el rumbo de la trama, especialmente en momentos clave de la historia. A diferencia de la narrativa tradicional, en la que los acontecimientos se presentan de forma lineal y predeterminada, la narrativa interactiva introduce puntos de decisión que modifican la progresión del relato y, en consecuencia, su desenlace. Este formato plantea interrogantes sobre los procesos psicológicos que se activan durante la experiencia y sobre la influencia persuasiva que este tipo de narrativas puede tener en comparación con las narrativas convencionales [13].

2.1.1.4. Gamificación

La gamificación es una estrategia que consiste en aplicar elementos, dinámicas y mecánicas propias de los juegos en contextos no lúdicos, como la educación, la salud, el trabajo o la comunicación. Su objetivo es motivar la participación, aumentar el compromiso y favorecer el aprendizaje a través de recursos como puntos, niveles, recompensas, retos o retroalimentación inmediata. En [14] se hizo una revisión sistémica de la literatura científica con el objetivo de analizar la relación entre la gamificación y la motivación en entornos educativos. Encontrando que, elementos lúdicos favorecen el aprendizaje activo, pues más del 80 % de los estudios revisados muestran que incrementan la motivación intrínseca y el compromiso estudiantil.

2.1.1.5. Diversidad sensorial

En el presente trabajo se adopta el término diversidad sensorial, denominación empleada por el Instituto para Niños Ciegos y Sordos del Valle del Cauca como una alternativa más inclusiva al concepto tradicional de discapacidad sensorial. Desde una perspectiva conceptual, la discapacidad sensorial comprende limitaciones significativas asociadas a los sistemas visual y/o auditivo, las cuales pueden influir en la forma en que una persona percibe, procesa e interactúa con el entorno, generando necesidades específicas de accesibilidad y apoyo [15]. No obstante, el Instituto emplea el término diversidad sensorial con el propósito de evitar enfoques centrados exclusivamente en el déficit, promoviendo una visión orientada al reconocimiento de distintas formas de percepción y aprendizaje. En coherencia con este enfoque institucional, el presente documento utilizará dicha denominación para referirse a niños con condiciones visuales y/o auditivas.

2.1.1.6. Funciones ejecutivas

Las funciones ejecutivas comprenden un conjunto de procesos cognitivos de orden superior que permiten regular, planificar y supervisar el comportamiento orientado a metas. De acuerdo con Heyl y Hintermair [16], estas funciones actúan como mecanismos de control esenciales frente a situaciones nuevas que exigen nuevos patrones de acción, e incluyen dominios como la inhibición de estímulos distractores, la flexibilidad cognitiva, el control emocional, la memoria de trabajo, la planificación y el monitoreo del propio desempeño. En niños con diversidades sensoriales, su desarrollo presenta retos particulares: el mismo estudio evidenció que estudiantes con discapacidad visual obtuvieron puntuaciones significativamente más bajas en todos estos dominios frente a una muestra normativa de niños videntes, dado que la limitación sensorial impone una mayor demanda sobre los procesos de regulación y control cognitivo, lo que a su vez se asocia con una mayor incidencia de problemas conductuales y socioemocionales.

En el contexto del presente proyecto, las funciones ejecutivas son un referente clave para el diseño del prototipo de videojuego en realidad virtual dirigido a niños de 5 a 12 años con diversidades visuales y/o auditivas. Las mecánicas de interacción, la narrativa y los minijuegos deben evitar sobrecargar procesos como la memoria de trabajo, ofreciendo retroalimentación inmediata

y estructuras de tarea claras como andamiaje cognitivo. Al mismo tiempo, el entorno inmersivo representa una oportunidad para estimular de forma lúdica dominios como la flexibilidad cognitiva y la inhibición, en línea con lo señalado por Heyl y Hintermair [16], quienes destacan el potencial de las experiencias interactivas como apoyo al desarrollo cognitivo inclusivo en esta población.

2.1.2. Trabajos Relacionados

2.1.2.1. Building Augmented and Virtual Reality Experiences for Children with Visual Diversity.

A. Navarro-Newball et al.[17] presentan un proyecto binacional entre Colombia y Québec que busca fomentar la inclusión y la educación ambiental en niños con diversidad visual, a través de experiencias interactivas desarrolladas con tecnologías de Realidad Aumentada (RA) y Realidad Virtual (RV). El proyecto se centra en narrativas sobre cuatro animales colombianos en peligro de extinción (el tití cabeciblanco, el jaguar, el oso de anteojos y el cóndor), con el fin de promover el desarrollo del lenguaje, las habilidades cognitivas y la motricidad, al tiempo que se genera conciencia ecológica. Se han diseñado distintos sistemas: una simulación de vuelo en RV para el cóndor, una experiencia táctil aumentada para la piel del jaguar, rompecabezas y máscaras en AR para el tití y el oso de anteojos, y entornos inmersivos de realidad extendida (XR) que integran varios sentidos. Aunque el proyecto aún se encuentra en fase de implementación, los avances muestran el potencial de estas tecnologías para estimular el aprendizaje multisensorial y apoyar terapias de lenguaje en niños con baja visión. Los autores planean validar su efectividad mediante observación directa, cuestionarios aplicados a terapeutas del lenguaje y análisis de respuestas neurológicas con dispositivos especializados.

Este estudio aporta evidencia sobre cómo las narrativas contextualizadas, combinadas con estímulos auditivos y hápticos, facilitan la comprensión y aumentan la motivación en niños con baja visión. Sus resultados y recomendaciones prácticas sirven como una referencia directa para la selección e implementación de los recursos sensoriales (auditivos y hápticos) en el prototipo de RV.

2.1.2.2. Universal Design for Learning: Storytelling Application to Promote Learning for Children with Deaf

K. Hongngam et al. [18] desarrollan una aplicación de narración interactiva diseñada para mejorar la adquisición de vocabulario en niños sordos de segundo grado en Tailandia. La aplicación combina cuentos infantiles con lengua de señas tailandesa y minijuegos educativos, con el objetivo de fortalecer la lectura y el aprendizaje de vocabulario mediante un enfoque inclusivo basado en el Diseño Universal para el Aprendizaje (DUA). El proceso de desarrollo siguió el modelo de tres etapas (preproducción, producción y postproducción), integrando elementos gráficos, animaciones y videos de señas. La efectividad de la herramienta se evaluó a través de pruebas previas y posteriores, obteniendo resultados estadísticamente significativos (80/80.5 de eficiencia), lo que demuestra mejoras sustanciales en las habilidades de lectura y vocabulario de los niños participantes. Los hallazgos destacan que esta aplicación no solo apoya el aprendizaje de la lengua escrita, sino que

también motiva a los estudiantes al ofrecer un entorno atractivo y multimodal. Los autores concluyen que el enfoque resulta altamente eficiente y apropiado para promover la alfabetización en niños con discapacidad auditiva, y recomiendan su incorporación en la educación primaria como recurso pedagógico accesible y escalable.

Sus resultados, que demuestran mejoras significativas en la adquisición de vocabulario y una alta aceptación por parte de los estudiantes, apoyan la viabilidad del enfoque elegido para este proyecto y ofrecen dos lecciones concretas para su desarrollo: (1) la clara necesidad de implementar múltiples representaciones del contenido (señas, texto, elementos visuales) para garantizar la accesibilidad para usuarios sordos, y (2) la utilidad de minijuegos educativos no solo como elementos de motivación, sino también como mecanismos efectivos para la práctica y reforzamiento de los conceptos presentados en la narrativa principal.

2.1.2.3. Extended Realities for Sensorially Diverse Children

Restrepo et al. [19] presentan un estudio en el que exploran cómo las realidades extendidas (XR), incluyendo AR, RV y MR, pueden favorecer el desarrollo del lenguaje, habilidades cognitivas y motoras en niños con diversidad sensorial (visual y auditiva). Para ello, desarrollaron siete aplicaciones interactivas basadas en cinco narrativas sobre animales colombianos, integrando experiencias multisensoriales con haptics, táctil, kinestésico y olfativo, utilizando dispositivos como Meta Quest 2, Hololens 2, Kinect 2, tablets Android, bHaptics vest y Cilia Smell kit. La evaluación se realizó mediante observación directa de los niños, focus groups con profesionales y encuestas, siguiendo un proceso iterativo durante ocho meses con aprobación ética y consentimiento informado. Los resultados muestran que las experiencias XR incrementan la motivación, el aprendizaje y el desarrollo de habilidades motoras y cognitivas, siendo AR menos distractora que RV y favoreciendo la atención en tareas.

Este trabajo aporta evidencia y recomendaciones específicas sobre el uso de RV en intervenciones educativas para niños con diversidad sensorial; sus hallazgos indican que la RV, correctamente diseñada, potencia la inmersión y la presencia, lo que facilita la atención sostenida y la comprensión narrativa en actividades controladas. Desde el punto de vista del diseño, este estudio respalda el uso de escenas inmersivas de RV para los episodios clave del cuento, siempre que se prioricen interacciones sencillas, límites temporales breves por sesión y mecanismos de control que reduzcan la carga cognitiva y el riesgo de mareo o sobre estimulación. Metodológicamente, Restrepo et al. recomiendan ciclos iterativos de prueba con profesionales y cuidadores para ajustar niveles de inmersión y accesibilidad, así como la inclusión de medidas específicas de resultado en RV los cuales sirven como base para el protocolo de evaluación de este trabajo.

2.1.2.4. Virtual reality for education?

D. Allison [20] presenta un estudio que explora el uso de realidad virtual (RV) como herramienta educativa para estudiantes de nivel medio, mediante el desarrollo del Virtual Reality Gorilla Exhibit.

El sistema permite a los estudiantes interactuar con gorilas virtuales, observando comportamientos, jerarquías sociales y reacciones ante distintos estímulos, que normalmente serían inaccesibles en un zoológico. La plataforma utiliza HMD, seguimiento de cabeza, audio y joystick para navegación y manipulación dentro del entorno virtual. La primera versión se centró en la adquisición de conocimientos sobre el comportamiento de los gorilas, mientras que la segunda versión amplió el enfoque a la construcción de modelos de comportamiento, permitiendo a los estudiantes crear controladores de movimientos basados en observaciones reales. Las evaluaciones preliminares muestran que los estudiantes aprenden conceptos de manera más efectiva, mantienen un alto nivel de motivación y retención de información, aunque se identificaron desafíos en la programación de movimientos y reglas de comportamiento. Este estudio es relevante para el prototipo educativo inclusivo, ya que demuestra cómo la RV puede proporcionar experiencias inmersivas, seguras y motivadoras para el aprendizaje activo.

Aunque más antiguo, este estudio es valioso al mostrar cómo la RV permite recrear contextos de aprendizaje inaccesibles en la vida real y al enumerar desafíos técnicos y de diseño (modelado de comportamientos, control de interacciones). Para el prototipo, aporta advertencias prácticas sobre la complejidad de programar interacciones realistas y la necesidad de priorizar tareas educativas claras por sobre simulaciones complejas. Sus observaciones respaldan optar por mecánicas de interacción simples, guías claras y objetivos pedagógicos medibles dentro de la experiencia.

Metodología, Análisis y Diseño

3.1. Metodología

Con el fin de cumplir el objetivo principal de desarrollar un prototipo funcional de un videojuego narrativo en realidad virtual, inspirado en un cuento infantil, se definió una metodología de desarrollo con enfoque iterativo que integra tanto el diseño creativo como la validación técnica y pedagógica. Este enfoque busca adaptar tecnologías inmersivas para construir una narrativa interactiva dirigida a niños de 5 a 12 años con diversidades visuales y/o auditivas, garantizando que el resultado final sea funcional desde el punto de vista tecnológico, además de inclusivo y accesible para la población objetivo.

El desarrollo del presente proyecto se abordó mediante un enfoque ágil inspirado en la metodología Scrum, lo que permitió organizar la construcción del prototipo de manera iterativa e incremental. Este enfoque fue seleccionado debido a la naturaleza del proyecto, en el que se integran componentes narrativos, de interacción y de accesibilidad, los cuales requieren ajustes continuos durante el proceso de desarrollo.

A diferencia de las metodologías tradicionales de tipo secuencial, el proceso no se estructuró en fases rígidas, sino en ciclos de trabajo iterativos en los que se integraron de forma continua actividades de análisis, diseño, implementación y evaluación. Esto permitió que los distintos componentes del sistema se desarrollaran progresivamente, incorporando mejoras en cada iteración.

En este contexto, las actividades asociadas a los objetivos específicos del proyecto, tales como el análisis narrativo, el diseño de interacción, la implementación del prototipo y la evaluación del sistema, se llevaron a cabo de manera transversal a lo largo de las iteraciones y no como etapas independientes y consecutivas. Asimismo, el desarrollo se organizó mediante iteraciones semanales, lo que facilitó la planificación, el seguimiento del progreso y la incorporación continua de mejoras al sistema.

3.1.1. Plan de actividades del proyecto

En coherencia con el enfoque metodológico adoptado, las actividades se definieron a partir de los objetivos específicos planteados. Estas no se desarrollaron de manera secuencial, sino que se abordaron de forma iterativa a lo largo de las diferentes iteraciones del proyecto, permitiendo la integración progresiva de los componentes narrativos, de interacción y técnicos del sistema.

A continuación, se describen las actividades específicas que se llevaron a cabo en cada una de las fases del proyecto para alcanzar los objetivos establecidos:

3.1.1.1. Elementos narrativos

Objetivo: Identificar los elementos narrativos del cuento “¿Dónde está mi mamá jaguar?”, más pertinentes para ser adaptados en un videojuego sensorial inclusivo.

Actividades:

- 1.1 Revisión detallada del cuento “¿Dónde está mi mamá jaguar?”, para seleccionar los elementos narrativos más pertinentes (personajes, trama y diálogos).
- 1.2 Diseñar un storyboard que ilustre la secuencia del cuento “¿Dónde está mi mamá jaguar?”, resaltando los momentos narrativos clave, de manera que sirva como guía estructural para la posterior construcción del prototipo.
- 1.3 Validación de los elementos narrativos seleccionados a través de sesiones de revisión y retroalimentación con profesionales del Instituto para Niños Ciegos y Sordos del Valle del Cauca, garantizando que la adaptación responda a criterios de accesibilidad e inclusión.

3.1.1.2. Interacción en realidad virtual

Objetivo: Diseñar mecanismos de interacción accesibles para favorecer la interacción de los niños en un entorno de realidad virtual basado en un cuento infantil.

Actividades:

- 2.1 Definir el modelo de interacción infantil en el entorno inmersivo, estableciendo cómo los niños se relacionarán con la narrativa a través de recursos multisensoriales accesibles, como narración en audio, contrastes de color, subtítulos o vibración, garantizando así una experiencia inclusiva y comprensible.
- 2.2 Elaborar diagramas de flujo de la narrativa, en los que se representen las posibles rutas de interacción, las decisiones que pueden tomar los niños y las respuestas previstas del sistema dentro del entorno inmersivo.
- 2.3 Realizar sesiones de revisión y retroalimentación con los profesionales del Instituto para Niños Ciegos y Sordos del Valle del Cauca, de modo que se verifique la pertinencia y la accesibilidad de las dinámicas propuestas.

3.1.1.3. Desarrollo del prototipo

Objetivo: Implementar un prototipo funcional de sistema en realidad virtual, basado en una narrativa infantil, que integre mecanismos de accesibilidad y retroalimentación sensorial para favorecer la inclusión de niños con diversidades visuales y/o auditivas.

Actividades:

- 3.1 Implementar el ambiente visual e interfaz de usuario.
- 3.2 Implementar los diagramas de flujo de la narrativa concordados.
- 3.3 Implementar los recursos multisensoriales acordados, como retroalimentación durante la experiencia inmersiva.

3.1.1.4. Evaluación del prototipo

Objetivo: Evaluar la usabilidad del prototipo en un entorno de realidad virtual.

Actividades:

- 4.1 Realizar pruebas con personal docente, aplicando instrumentos de evaluación sencillos, como formularios de observación y retroalimentación, para recopilar apreciaciones relacionadas con la usabilidad y accesibilidad del prototipo.
- 4.2 Ajustar y optimizar el prototipo a partir de los resultados de las pruebas, implementando mejoras en accesibilidad, y validando nuevamente los cambios realizados.
- 4.3 Recopilar y analizar datos cualitativos y cuantitativos (encuestas, comentarios y observaciones directas) que permitan evaluar la usabilidad.

3.1.2. Aplicación de la metodología ágil en el proyecto

En correspondencia con el enfoque metodológico previamente descrito, el desarrollo del proyecto se organizó mediante una adaptación de la metodología Scrum, estructurando el trabajo en iteraciones semanales y conformando un total de 15 iteraciones. Dentro de estas se incluyeron las actividades de desarrollo, pruebas finales, validación con el Instituto para Niños Ciegos y Sordos del Valle del Cauca e incorporación de ajustes derivados de la retroalimentación obtenida.

La planificación se estructuró bajo un enfoque de desarrollo basado en escenas narrativas, considerando cada escena como una unidad funcional del sistema. Este criterio permitió organizar el proceso de manera modular, facilitar la construcción progresiva del videojuego y favorecer la reutilización de componentes previamente definidos, tales como los mecanismos de interacción, la interfaz de usuario, los sistemas de retroalimentación y la lógica de navegación.

En este sentido, las iteraciones se definieron como ciclos de trabajo orientados al cumplimiento de objetivos específicos, en los cuales se integraron de manera gradual los distintos componentes del sistema. Las primeras iteraciones se orientaron a la definición conceptual, el diseño narrativo y la estructuración de la interacción; las iteraciones intermedias se centraron en la implementación progresiva de las escenas del videojuego; y las últimas se destinaron a la integración del sistema, la optimización del rendimiento y la preparación del prototipo para su validación.

Resulta importante señalar que, debido al carácter iterativo e incremental de la metodología empleada, el presente documento expone principalmente el resultado consolidado correspondiente a

la última iteración del desarrollo, en la cual se integraron los componentes definitivos del prototipo. No obstante, los avances, ajustes y resultados obtenidos en las iteraciones anteriores se encuentran documentados en el **Anexo A**.

3.2. Análisis

El presente capítulo tiene como propósito analizar los elementos fundamentales que orientan el desarrollo del prototipo, a partir de la adaptación del cuento infantil *¿Dónde está mi mamá jaguar?* al contexto de una experiencia interactiva en realidad virtual. Este análisis se realiza en coherencia con la metodología planteada en la sección anterior, en la cual se definió un enfoque iterativo orientado a la integración de componentes narrativos, de interacción y de accesibilidad.

El cuento seleccionado constituye la base narrativa del sistema y ha sido previamente trabajado en contextos educativos con la población objetivo. En este sentido, el prototipo no se concibe como un reemplazo del recurso pedagógico existente, sino como una herramienta de apoyo que busca fortalecer la comprensión del relato mediante una experiencia inmersiva e interactiva.

Con base a lo anterior, en las siguientes secciones se presenta el análisis de los elementos narrativos, del usuario, pedagógicos y funcionales que orientan la construcción del prototipo.

3.2.1. Contextualización del cuento base

El presente proyecto se fundamenta en el cuento infantil *¿Dónde está mi mamá jaguar?*, una historia dirigida a niños pequeños que narra la búsqueda de una cría de jaguar por su madre dentro de un bosque tropical. La historia inicia cuando el joven jaguar despierta solo en una cueva y comienza a explorar el entorno mientras intenta encontrar a su mamá guiándose por sus características físicas y sonidos. Durante el recorrido, el jaguar se encuentra con diferentes animales, como un puma, un gatopardo y un mono aullador, comparando sus manchas, rugidos y comportamientos con los recuerdos que tiene de su madre. Después de atravesar distintos escenarios naturales y enfrentar momentos de tristeza y confusión, finalmente reconoce el rugido de la mamá jaguar y logra reencontrarse con ella.

La narrativa del cuento se desarrolla de manera lineal y sencilla, permitiendo trabajar procesos de reconocimiento, comparación, memoria y comprensión del entorno. Estas características facilitaron su adaptación a un entorno interactivo en realidad virtual, donde las escenas, personajes e interacciones del videojuego fueron diseñados tomando como referencia los eventos principales de la historia original.

3.2.2. Análisis del usuario objetivo

El prototipo está dirigido a niños entre los 5 y 12 años con diversidades visuales y/o auditivas, quienes constituyen la población objetivo del proyecto. Para el diseño de la experiencia interactiva

se analizaron aspectos relacionados con las necesidades sensoriales, las formas de interacción, el contexto educativo y el nivel de comprensión de los usuarios, con el fin de desarrollar una experiencia accesible, intuitiva y adaptada a sus características.

En el caso de los usuarios con diversidad visual, se identificó la necesidad de incorporar estímulos auditivos, narraciones descriptivas y mecanismos de orientación que facilitaran la exploración del entorno virtual y la comprensión de las actividades planteadas. Asimismo, se priorizó el uso de contrastes visuales adecuados y elementos gráficos diferenciables para facilitar la percepción de personajes, objetos e interfaces dentro del entorno. De igual manera, se contempló el uso de retroalimentación háptica como apoyo durante algunas interacciones del sistema.

Por su parte, los usuarios con diversidad auditiva requieren el uso de apoyos visuales que permitan comprender la información presentada durante la experiencia. Por esta razón, el prototipo incorpora subtítulos, representaciones gráficas y elementos visuales de apoyo que facilitan la comprensión de la narrativa y de las instrucciones asociadas a las actividades del videojuego.

Adicionalmente, se consideró que los usuarios pueden requerir acompañamiento por parte de docentes o guías durante la interacción con el sistema, especialmente en contextos educativos. Esto implicó diseñar una experiencia guiada y estructurada de manera progresiva, utilizando mecánicas simples e interacciones intuitivas que facilitaran el aprendizaje y la comprensión de la dinámica del videojuego.

Las características identificadas durante el análisis del usuario influyeron directamente en la definición de los elementos narrativos, las mecánicas de interacción y los mecanismos de retroalimentación implementados en el prototipo. Esto permitió orientar el desarrollo del sistema hacia una experiencia multisensorial e inclusiva, adaptada a las necesidades de la población objetivo y enfocada en fortalecer la comprensión narrativa mediante el uso de recursos accesibles dentro del entorno de realidad virtual.

3.2.3. Análisis narrativo para la adaptación a RV

El análisis narrativo del cuento permitió identificar los elementos esenciales que orientaron la construcción de la experiencia interactiva en realidad virtual. En primer lugar, se reconoció una estructura narrativa lineal centrada en la búsqueda de la mamá jaguar por parte del joven jaguar, situación que funciona como principal motivación para el desarrollo de las interacciones y la progresión de la historia dentro del prototipo.

A partir de esta estructura, se definieron los escenarios principales que configuran el desarrollo del relato, tales como la cueva, el bosque y el río. Estos espacios no solo representan los entornos presentes en el cuento original, sino que también permiten organizar la progresión narrativa y las actividades de exploración del usuario dentro de la experiencia interactiva. Asimismo, cada escenario favorece la incorporación de elementos multisensoriales como audio, subtítulos, vibración háptica e imágenes de apoyo, con el fin de fortalecer la accesibilidad para niños con diversidades

sensoriales.

Asimismo, se identificaron los personajes relevantes para la adaptación, incluyendo al joven jaguar como protagonista, la mamá jaguar como objetivo de la búsqueda y los personajes secundarios como el puma, el gatopardo y el mono aullador. Cada uno de estos personajes cumple una función específica dentro de la narrativa, ya sea como elemento de comparación, reconocimiento o apoyo al aprendizaje de emociones y características de los animales presentes en el relato.

El análisis también permitió reconocer interacciones narrativas clave, especialmente aquellas relacionadas con la observación, escucha y comparación de características físicas y sonoras de los diferentes animales encontrados durante el recorrido. Estas interacciones fueron tomadas como base para el diseño de mecánicas orientadas al reconocimiento de patrones, asociación visual y auditiva, selección de respuestas y comprensión narrativa, reforzando contenidos previamente trabajados en el aula con la población objetivo.

Adicionalmente, durante el proceso de adaptación se realizaron ajustes sobre algunas situaciones del cuento original con el propósito de facilitar su implementación dentro del entorno de realidad virtual y mejorar la interacción del usuario. No obstante, se mantuvo la intención narrativa y pedagógica del relato original, conservando los personajes, escenarios y elementos principales de la historia.

Como resultado de este proceso, se definieron las secuencias narrativas que orientan la interacción del usuario dentro del sistema y que posteriormente sirvieron como base para la construcción de las escenas y mecánicas del videojuego.

3.2.4. Definición de objetivos pedagógicos

El prototipo se plantea como una herramienta de apoyo pedagógico orientada a reforzar la comprensión del cuento trabajado previamente en el aula. En este sentido, la definición de los objetivos pedagógicos se fundamenta tanto en el análisis narrativo realizado sobre el cuento como en las orientaciones proporcionadas por profesionales del Instituto para Niños Ciegos y Sordos del Valle del Cauca, quienes aportaron lineamientos relacionados con el fortalecimiento de habilidades cognitivas, lingüísticas y socioemocionales en la población objetivo.

Uno de los principales objetivos del prototipo es fortalecer la comprensión narrativa, permitiendo que el usuario identifique los personajes, sus características y la secuencia de eventos presentes en la historia. Para ello, el sistema estimula procesos de atención y observación mediante dinámicas en las que el usuario debe identificar características específicas de los animales, reconocer elementos dentro del entorno y responder a estímulos visuales, auditivos y hápticos de manera controlada. Estas actividades favorecen la concentración y la exploración activa del entorno virtual. Asimismo, se pretende fortalecer la memoria, tanto en la retención de información narrativa como en la ejecución de actividades que requieren recordar secuencias, sonidos o características previamente presentadas durante la experiencia. Esto también se relaciona con el desarrollo de funciones ejecutivas vinculadas

con la organización, recuperación y asociación de información dentro del contexto interactivo.

Otro de los objetivos pedagógicos considerados corresponde al trabajo de la inhibición, entendida como la capacidad de controlar respuestas impulsivas. Para ello, se incorporan dinámicas en las que el usuario debe analizar la información antes de responder, favoreciendo procesos de reflexión y toma de decisiones dentro de las actividades planteadas. Adicionalmente, el prototipo incorpora actividades orientadas al reconocimiento de emociones, permitiendo que el usuario identifique estados emocionales presentes en los personajes y relacione dichas expresiones con situaciones específicas de la narrativa. Esto contribuye al fortalecimiento de habilidades socioemocionales y a una mejor comprensión del contexto de la historia.

Finalmente, se integran elementos relacionados con la orientación espacial, promoviendo el reconocimiento de la ubicación de objetos, caminos y personajes dentro del entorno virtual. Estas actividades favorecen procesos de percepción y comprensión espacial mediante la exploración interactiva del escenario. En conjunto, estos objetivos pedagógicos orientan el diseño de la experiencia interactiva y estructuran las dinámicas presentes dentro del entorno virtual. A través de actividades multisensoriales e interacciones guiadas, el prototipo busca favorecer procesos de comprensión narrativa, memoria, atención, reconocimiento emocional y orientación espacial, integrando recursos accesibles que responden a las necesidades de niños con diversidades sensoriales.

3.2.5. Análisis funcional del sistema

A partir de los elementos narrativos identificados, las características de la población objetivo y los objetivos pedagógicos previamente definidos, se establecieron las principales funciones que el sistema debe cumplir para garantizar una experiencia interactiva accesible, guiada y orientada al aprendizaje dentro del entorno de realidad virtual.

En primer lugar, el sistema debe permitir una progresión secuencial de la narrativa, organizando la experiencia en escenas consecutivas cuyo avance depende de la interacción del usuario y del cumplimiento exitoso de actividades o preguntas de comprensión. De esta manera, el usuario únicamente puede acceder a la siguiente fase cuando complete correctamente la interacción correspondiente dentro de la escena actual.

Asimismo, el sistema debe facilitar la interacción con el entorno virtual mediante mecánicas simples y controladas. Para ello, se incorporan acciones como la selección de respuestas a través de botones interactivos, el desplazamiento guiado mediante puntos de navegación y la manipulación de elementos interactivos dentro del entorno. Estas interacciones fueron planteadas con el propósito de mantener una estructura de uso consistente a lo largo de la experiencia, evitando generar confusión durante la navegación.

Adicionalmente, se establece que el sistema debe proporcionar retroalimentación inmediata frente a las acciones realizadas por el usuario. Esta retroalimentación se presenta mediante audio y subtítulos que indican el resultado de la interacción. Cuando las actividades son completadas

correctamente, el sistema habilita el acceso a la siguiente escena.

En caso de respuestas incorrectas, el sistema debe orientar nuevamente al usuario mediante instrucciones narradas y mensajes de apoyo que le indiquen observar o escuchar con mayor atención antes de volver a intentarlo. De esta manera, se busca reforzar la comprensión sin generar penalizaciones complejas ni interrumpir el flujo de la experiencia interactiva.

El análisis funcional también permitió establecer la necesidad de integrar mecanismos de guía permanente dentro del entorno virtual. Para ello, el prototipo incorpora un narrador que acompaña continuamente al usuario, proporcionando instrucciones, contextualizando las situaciones y orientando las actividades desarrolladas en cada escena.

Por otra parte, se definió que la información debe presentarse de manera accesible y multimodal, integrando subtítulos, contrastes visuales altos, vibración háptica, apoyos visuales y recursos auditivos que favorezcan la comprensión de la experiencia por parte de niños con diversidades sensoriales. Estas características buscan minimizar la sobrecarga cognitiva y facilitar la interpretación de las actividades propuestas dentro del entorno virtual.

Finalmente, el sistema contempla el uso de controles de realidad virtual basados principalmente en los botones *grip* y *trigger*, utilizados para ejecutar las interacciones principales dentro del entorno. En conjunto, estas funciones permiten estructurar una experiencia interactiva guiada y accesible, alineada tanto con las necesidades de la población objetivo como con los objetivos pedagógicos definidos para el prototipo.

3.2.6. Requerimientos del sistema

Los requerimientos del sistema se definieron a partir del análisis narrativo, pedagógico y técnico realizado durante las etapas previas del proyecto. Estos requerimientos establecen las funcionalidades, restricciones y características necesarias para el desarrollo del prototipo de realidad virtual orientado a población infantil con diversidades sensoriales.

3.2.6.1. Requerimientos funcionales

RF-01: Adaptación de la narrativa

El sistema debe presentar una adaptación interactiva del cuento *¿Dónde está mi mamá jaguar?*, incorporando los personajes principales, los eventos narrativos clave y las interacciones definidas para la experiencia.

RF-02: Secuencia de escenas

El sistema debe permitir el avance secuencial del usuario a través de las escenas narrativas, habilitando el progreso únicamente cuando se complete la interacción requerida en cada escena.

RF-03: Retroalimentación auditiva

El sistema debe incluir retroalimentación auditiva mediante narración de la historia, sonidos ambientales y efectos de sonido asociados a acciones relevantes dentro del entorno virtual.

RF-04: Retroalimentación visual

El sistema debe proporcionar retroalimentación visual mediante subtítulos descriptivos sincronizados con los diálogos y sonidos relevantes.

RF-05: Contraste y visibilidad de elementos interactivos

El sistema debe utilizar colores y elementos visuales con suficiente contraste para facilitar la identificación de objetos interactivos dentro del entorno virtual.

RF-06: Tutorial integrado en la experiencia

El sistema debe presentar instrucciones de uso integradas dentro de la experiencia de realidad virtual para enseñar al usuario cómo interactuar con el entorno mediante acciones como mirar, seleccionar o activar elementos. Estas instrucciones deben mostrarse mediante apoyos visuales y/o auditivos en el momento en que cada interacción sea requerida dentro de la narrativa.

RF-07: Interacción con objetos del entorno

El sistema debe permitir al usuario interactuar con objetos y elementos del entorno virtual mediante mecanismos de selección y activación definidos para la experiencia.

RF-08: Retroalimentación háptica

El sistema debe proporcionar retroalimentación háptica en eventos relevantes de interacción para reforzar la percepción de acciones dentro del entorno virtual.

3.2.6.2. Requerimientos no funcionales**RNF-01: Compatibilidad (Portabilidad)**

El sistema debe ser compatible con las gafas de realidad virtual Meta Quest 3S.

RNF-02: Control y orientación del usuario (Fiabilidad)

El sistema debe mantener una disposición espacial clara dentro del entorno virtual, utilizando referencias visuales o elementos de orientación que reduzcan la desorientación del usuario durante la experiencia.

RNF-03: Claridad y simplicidad de las instrucciones

Las preguntas, instrucciones e indicaciones presentadas durante la experiencia deben formularse en lenguaje sencillo, directo y acorde al nivel cognitivo de niños entre 5 y 12 años.

3.2.6.3. Criterios de éxito**CE RF-01:**

La adaptación interactiva del cuento es validada por al menos cuatro profesionales del Instituto para Niños Ciegos y Sordos del Valle del Cauca, quienes confirman la coherencia de la narrativa y la incorporación de los personajes y eventos principales definidos para la experiencia.

CE_RF-02:

El usuario puede completar todas las escenas del prototipo siguiendo el orden narrativo establecido, avanzando únicamente después de realizar la interacción requerida en cada escena y sin presentar fallos técnicos durante la ejecución.

CE_RF-03:

Durante las pruebas funcionales del prototipo, la narración, los sonidos ambientales y los efectos de sonido se reproducen correctamente y en sincronía con las acciones y eventos de la experiencia.

CE_RF-04:

Los subtítulos se visualizan de forma legible dentro del visor de realidad virtual y aparecen sincronizados con los diálogos y sonidos relevantes de la experiencia.

CE_RF-05:

Durante la validación del prototipo, los profesionales del Instituto identifican correctamente los elementos interactivos del entorno virtual sin requerir apoyo adicional para distinguirlos visualmente.

CE_RF-06:

Cada mecánica de interacción del prototipo presenta una instrucción contextual visual y/o auditiva durante su primer uso, permitiendo al usuario comprender la acción requerida para continuar la experiencia.

CE_RF-07:

Las interacciones configuradas dentro del entorno virtual responden correctamente durante las pruebas funcionales del prototipo, permitiendo la activación y manipulación de los elementos definidos para la experiencia.

CE_RF-08:

La retroalimentación háptica se activa correctamente durante los eventos de interacción definidos en el prototipo y es perceptible durante la ejecución de la experiencia.

CE_RNF-01:

El prototipo se ejecuta correctamente en las gafas Meta Quest 3S, manteniendo el funcionamiento de las interacciones, elementos visuales y elementos auditivos definidos para la experiencia.

CE_RNF-02:

Durante las pruebas funcionales del prototipo, el usuario puede recorrer y completar la experiencia narrativa manteniendo la orientación dentro del entorno virtual, sin presentar desorientación que impida continuar la interacción.

CE_RNF-03:

Durante la validación del prototipo, los profesionales del Instituto consideran que las instrucciones y preguntas presentadas en la experiencia pueden ser comprendidas por el rango de edad objetivo sin requerir explicaciones adicionales.

3.3. Diseño

En esta sección se presenta el diseño del prototipo, el cual define la manera en que los elementos analizados previamente se integran en una experiencia interactiva en realidad virtual. El diseño contempla aspectos técnicos, narrativos y de accesibilidad, con el propósito de garantizar una experiencia coherente con los objetivos pedagógicos planteados y con las características de la población objetivo.

La estructura del prototipo se basa en un enfoque secuencial organizado por escenas, en el que se articulan las interacciones del usuario, las mecánicas de juego, las interfaces, los recursos multimedia y la lógica de funcionamiento del sistema. Este enfoque permite organizar la experiencia de forma progresiva, estableciendo una relación directa entre la narrativa, las actividades propuestas y el avance dentro de la experiencia interactiva.

A partir de este diseño se definen los componentes necesarios para la implementación del prototipo, así como la manera en que cada escena contribuye al cumplimiento de los objetivos funcionales y pedagógicos del proyecto.

3.3.1. Adaptación narrativa al entorno interactivo

La adaptación narrativa del cuento *¿Dónde está mi mamá jaguar?* al entorno interactivo se realizó a partir del análisis previo de la estructura narrativa, los personajes y los acontecimientos principales presentes en la historia original. Debido a que el cuento presenta una secuencia lineal centrada en la búsqueda de la mamá jaguar, se definió una progresión narrativa organizada en escenas consecutivas que guían al usuario a través de diferentes momentos de la experiencia dentro del entorno de realidad virtual.

El proceso de adaptación tuvo como propósito transformar la narrativa tradicional del cuento en una experiencia inmersiva e interactiva, permitiendo que el niño participara activamente en el desarrollo de la historia mediante procesos de observación, exploración y respuesta a preguntas guiadas por el narrador. Para ello, la narrativa se reorganizó en una secuencia estructurada de situaciones y eventos que conservan la intención original del cuento, pero incorporan actividades interactivas y mecanismos de participación dentro del entorno virtual.

La narrativa del prototipo fue organizada en una secuencia lineal de siete escenas principales, las cuales representan diferentes momentos del recorrido del joven jaguar dentro de la historia:

- Escena 1: Contextualización inicial dentro de la cueva.
- Escena 2: Exploración del entorno y encuentro con el puma.
- Escena 3: Encuentro con el gatopardo y llegada al río.
- Escena 4: Reto interactivo para cruzar el río.

- Escena 5: Encuentro con el mono aullador.
- Escena 6: Reencuentro entre el joven jaguar y su mamá.
- Escena 7: Minijuego final de secuencias.

Cada escena fue diseñada con objetivos narrativos e interactivos específicos, manteniendo una relación directa con los acontecimientos principales del cuento original y con las actividades planteadas dentro de la experiencia de realidad virtual. La descripción detallada de cada escena puede consultarse en el **Anexo B**.

La narrativa del prototipo se desarrolla de manera lineal, estableciendo una dependencia secuencial entre las escenas. En este sentido, el usuario únicamente puede avanzar cuando responde correctamente las actividades o preguntas planteadas durante la experiencia. En caso de presentar errores en la comprensión o identificación de elementos, el sistema proporciona retroalimentación y permite repetir la actividad antes de continuar con la siguiente escena.

Con el fin de mantener la continuidad narrativa durante toda la experiencia, el narrador permanece presente a lo largo del recorrido, proporcionando instrucciones, descripciones del entorno y retroalimentación constante al usuario. Asimismo, se incorporaron recursos de accesibilidad previamente definidos, tales como narraciones auditivas, subtítulos permanentes, imágenes de apoyo, flechas de orientación y resaltado visual de objetos para facilitar la identificación de elementos relevantes dentro del entorno virtual. De igual forma, se integró retroalimentación háptica para apoyar el reconocimiento de objetos y reforzar determinadas interacciones dentro de la experiencia.

Finalmente, como apoyo al proceso de adaptación narrativa y planificación de la experiencia interactiva, se elaboró un storyboard que permitió representar visualmente la secuencia de escenas, las transiciones narrativas y las principales interacciones del usuario dentro del entorno virtual. Este recurso facilitó la organización de la progresión de la historia y la definición preliminar de los elementos visuales y narrativos del prototipo. El storyboard completo puede consultarse en el **Anexo C**.

3.3.2. Diseño de diálogos y narrativa interactiva

El diseño de los diálogos y de la narrativa interactiva se realizó a partir de la adaptación del cuento *¿Dónde está mi mamá jaguar?* al entorno de realidad virtual. Para ello, se retomaron y adecuaron diversos diálogos y descripciones presentes en el cuento original, reorganizándolos en secuencias orientadas a guiar al usuario durante el desarrollo de la experiencia.

Las intervenciones del narrador y del joven jaguar fueron utilizadas para contextualizar la historia, orientar las actividades, proporcionar retroalimentación y reforzar la progresión narrativa de cada escena. Asimismo, los diálogos fueron adaptados utilizando frases breves y vocabulario sencillo, buscando facilitar la comprensión de la experiencia por parte de la población objetivo.

La versión completa de los diálogos abstraídos y adaptados para la implementación narrativa del prototipo puede consultarse en el **Anexo D**.

3.3.3. Diseño general del sistema

El sistema se estructura como un conjunto de escenas interconectadas, donde cada una representa una fase específica de la narrativa y contiene su propia lógica de funcionamiento implementada mediante scripts independientes. De este modo, el control del prototipo se gestiona de forma distribuida, asignando a cada escena la responsabilidad de administrar las secuencias narrativas, las interacciones del usuario y la validación de respuestas correspondientes a cada etapa de la experiencia. Este enfoque, permite adaptar el comportamiento del sistema a las necesidades específicas de cada escena, manteniendo coherencia en la experiencia global y facilitando la implementación de las diferentes etapas del videojuego.

El funcionamiento general del sistema se basa en la ejecución en tiempo real de eventos, diálogos y condiciones de interacción, sin requerir almacenamiento persistente de datos entre sesiones. Dentro de cada escena se gestionan diferentes componentes funcionales, entre los que se incluyen:

- Presentación de subtítulos y reproducción de audio.
- Activación de interfaces visuales mediante *canvas*.
- Validación de respuestas del usuario.
- Control del flujo narrativo.
- Movimientos y comportamientos de los personajes.

3.3.4. Diseño de la interacción

El diseño de la interacción del sistema se basa en un enfoque guiado y controlado, orientado a facilitar la participación de niños entre 5 y 12 años dentro de un entorno de realidad virtual, minimizando la complejidad de uso y reduciendo la posibilidad de errores durante la experiencia. La interacción del usuario se realiza mediante los controladores del dispositivo de realidad virtual. El usuario debe apuntar hacia los elementos interactivos mediante un rayo proyectado desde el controlador, el cual permite identificar el objeto seleccionado. Cuando el rayo se posiciona sobre un botón, este cambia de color como señal visual de selección. Para confirmar la acción, el usuario debe presionar el gatillo frontal del control (*trigger*).

Adicionalmente, se incorpora un modelo visual del controlador dentro del entorno virtual, con el propósito de facilitar la comprensión de los botones y apoyar el proceso de aprendizaje del usuario en el uso del dispositivo. En cuanto al desplazamiento dentro del entorno, no se permite movimiento libre. En su lugar, se implementa un mecanismo basado en puntos de referencia predefinidos (*way-points*), a los cuales el usuario puede acceder únicamente cuando la experiencia lo requiere. Para

realizar el movimiento, el usuario debe accionar el gatillo lateral del control (*grip*). Este mecanismo permanece restringido durante las secuencias narrativas y las preguntas, bloqueando el desplazamiento mientras se presenta información o se solicita una respuesta, y habilitándolo únicamente cuando es necesario avanzar a la siguiente fase de la experiencia.

La comunicación con el usuario se realiza de manera multimodal, integrando audio y subtítulos presentados de forma sincronizada. Además, se proporcionan instrucciones constantes con el fin de mantener al usuario guiado durante toda la interacción. Con respecto a la retroalimentación, la experiencia responde de manera inmediata a las acciones del usuario. En caso de respuestas correctas, se presenta una confirmación afirmativa que permite avanzar a la siguiente etapa. En caso de error, se solicita intentar nuevamente, repitiendo la pregunta o la información contextual necesaria según el momento de la experiencia. Esta retroalimentación se presenta tanto de forma auditiva como textual.

Las interfaces de interacción se implementan mediante elementos tipo *canvas* ubicados frente al usuario dentro del entorno tridimensional, sin estar fijados a la cámara. Estos contienen los botones de respuesta y los elementos informativos necesarios para la interacción. Aunque la interacción se realiza principalmente mediante botones, en ciertas actividades, como el minijuego final, también se emplean objetos tridimensionales del entorno. El ritmo de interacción es controlado por el sistema, permitiendo responder únicamente después de la presentación completa de las instrucciones o preguntas. No existe un límite de tiempo para responder, por lo que la experiencia permanece en espera hasta recibir una acción válida, evitando el avance automático.

Finalmente, la interacción se caracteriza por ser completamente guiada, limitando las acciones del usuario a aquellas previstas dentro de la experiencia. Este enfoque reduce la complejidad del entorno, evita comportamientos no esperados y garantiza el cumplimiento de los objetivos pedagógicos definidos para el prototipo.

3.3.5. Diseño de mecánicas del juego

Las mecánicas del juego definen la manera en que el usuario interactúa con el entorno virtual y participa en el desarrollo de la experiencia. En el presente prototipo, las mecánicas fueron diseñadas considerando tanto los objetivos pedagógicos como las características de accesibilidad e interacción propias de la realidad virtual, integrando estímulos visuales, auditivos y motores para favorecer procesos de atención, memoria, percepción y comprensión narrativa en la población objetivo.

En conjunto, las mecánicas diseñadas buscan mantener una interacción guiada, accesible y coherente con los objetivos pedagógicos del prototipo, integrando actividades de exploración, reconocimiento, comparación y memoria mediante las posibilidades de interacción propias de la realidad virtual. Adicionalmente, estas comparten una estructura de funcionamiento basada en ciclos de iteración guiados, conformados por los siguientes elementos:

- Presentación de la actividad mediante narración o estímulos del entorno.
- Ejecución de la acción por parte del usuario.
- Validación de la respuesta por el sistema.
- Retroalimentación visual, auditiva o textual.
- Repetición de la actividad o avance dentro de la experiencia.

A continuación, se describen las principales mecánicas implementadas en el sistema.

3.3.5.1. Mecánica de inmersión narrativa guiada

Esta mecánica se presenta en la escena inicial y tiene como objetivo introducir el contexto de la historia. El sistema presenta la narración junto con estímulos auditivos del entorno y posteriormente realiza preguntas de verificación de comprensión. El usuario debe identificar información clave del relato, como las características de la mamá jaguar. En caso de error, el sistema repite la contextualización y refuerza la información sin aplicar penalizaciones.

3.3.5.2. Mecánica de interacción y desplazamiento en entorno de RV

El desplazamiento dentro del entorno virtual se realiza mediante la activación de botones interactivos visibles en la escena. Para ello, el usuario emplea el control de realidad virtual utilizando el botón *grip*, el cual permite ejecutar acciones de movimiento o transición entre puntos específicos del escenario.

Por otra parte, la selección e interacción con elementos del entorno, como botones, opciones de respuesta o estímulos interactivos, se realiza mediante el uso del botón *trigger* del control. Esta diferenciación permite separar las acciones de desplazamiento y selección, facilitando la comprensión de la interacción por parte del usuario. Esta mecánica favorece la orientación espacial y reduce la sobrecarga cognitiva al evitar sistemas de locomoción complejos y mantener un esquema de interacción simple e intuitivo para la población infantil.

3.3.5.3. Mecánica de exploración guiada multisensorial

El usuario puede observar libremente el entorno mediante el movimiento de la cabeza, mientras recibe instrucciones del narrador que orientan su atención hacia elementos específicos. La identificación de animales u objetos relevantes se apoya en estímulos visuales y auditivos, como sonidos direccionales. Una vez identificado un elemento interactivo, el usuario lo selecciona utilizando el control. Consecuentemente, el sistema valida la selección y proporciona retroalimentación que refuerza la exploración activa y la identificación de estímulos dentro del entorno virtual.

3.3.5.4. Mecánica de reconocimiento espacial

En esta mecánica, el usuario debe determinar la ubicación relativa de un elemento dentro del entorno, por ejemplo, identificar si un animal se encuentra cerca o lejos. Para ello, selecciona una opción mediante una interfaz interactiva. La decisión del usuario se basa en estímulos sensoriales como el sonido y la representación visual del objeto, fortaleciendo habilidades de percepción y orientación espacial.

3.3.5.5. Mecánica de discriminación y toma de decisiones por comparación

El usuario analiza las características visuales de los animales encontrados y las compara con las características de la mamá jaguar previamente presentadas en la narración, como el patrón de manchas o determinados rasgos físicos. La interacción se realiza mediante la selección de opciones o respuestas guiadas. El sistema valida la respuesta del usuario y, en caso de ser incorrecta, le solicita observar o escuchar nuevamente los elementos del entorno antes de volver a intentarlo. Esta mecánica promueve procesos de razonamiento comparativo, atención y memoria.

3.3.5.6. Mecánica de interacción gestual

Durante la escena del cruce del río, el usuario debe realizar movimientos con los brazos utilizando los controles de realidad virtual para simular la acción de nadar. El sistema detecta estos movimientos y los traduce en el desplazamiento del personaje dentro del entorno virtual. De esta manera, se establece una relación directa entre la acción del usuario y la respuesta del sistema, ya que el avance depende del movimiento realizado. Esta mecánica introduce un componente de interacción motora que refuerza la coordinación y la comprensión de relaciones causa-efecto.

3.3.5.7. Mecánica de reconocimiento emocional

El usuario debe identificar el estado emocional de un personaje a partir de representaciones visuales dentro del entorno. La interacción se realiza mediante la selección de una opción que representa una emoción específica. El sistema valida la respuesta y proporciona retroalimentación inmediata, favoreciendo el desarrollo de habilidades de interpretación emocional y comprensión del contexto narrativo.

3.3.5.8. Mecánica de memoria secuencial

El minijuego final consiste en la reproducción de una secuencia audiovisual. El usuario observa un conjunto de elementos que se activan en un orden determinado mediante estímulos visuales y sonoros. Posteriormente, debe reproducir la secuencia seleccionando los elementos en el mismo orden utilizando el control de realidad virtual y confirmar su respuesta mediante un botón interactivo.

El sistema valida la secuencia ingresada y, en caso de error, permite repetir la actividad mostrando nuevamente la secuencia. Esta mecánica estimula la memoria visual, auditiva y la atención

secuencial. Este enfoque garantiza que la progresión esté vinculada con la comprensión y la participación activa del usuario dentro de la experiencia interactiva.

3.3.6. Diseño de interfaces

El diseño de interfaces del sistema se orienta a garantizar la claridad, legibilidad y accesibilidad de la información dentro del entorno de realidad virtual, en coherencia con los requisitos definidos en la sección 3.2.6, especialmente aquellos relacionados con la retroalimentación visual (RF-04), el contraste de los elementos interactivos (RF-05) y la claridad de las instrucciones (RNF-03).

Durante el desarrollo del prototipo, el diseño de interfaces se trabajó de manera iterativa, siguiendo el enfoque ágil inspirado en Scrum definido para el proyecto. En cada iteración se realizaron propuestas iniciales de interfaz que posteriormente fueron evaluadas mediante revisiones con el director del proyecto y profesionales del instituto. A partir de esta retroalimentación, se efectuaron ajustes relacionados con la distribución de los elementos visuales, contraste, tamaño de los textos, organización de botones y claridad de las instrucciones, permitiendo refinar progresivamente las interfaces implementadas en el entorno de realidad virtual.

Como parte de este proceso, se elaboraron bocetos iniciales de las interfaces con el propósito de definir la organización visual de los elementos, la disposición de los textos y la estructura general de interacción antes de su implementación en Unity. La **Figura 3.1** presenta la evolución del diseño del menú principal desde su propuesta inicial hasta la versión implementada en Unity. El boceto preliminar permitió establecer una estructura visual sencilla y comprensible para el usuario, definiendo botones diferenciados para las opciones de inicio y salida.



Figura 3.1: Comparación entre el boceto inicial del menú principal y la interfaz implementada en Unity.

Posteriormente, durante las iteraciones de implementación y validación, se realizaron ajustes relacionados con la ambientación visual y la distribución espacial de los elementos interactivos, con el propósito de integrar la interfaz de manera más coherente con el entorno de selva presentado dentro de la experiencia en RV. Estos cambios permitieron que la interfaz final transmitiera una mayor relación con la narrativa del cuento, manteniendo al mismo tiempo la claridad visual y facilitando la interacción del usuario dentro del entorno virtual.

Las modificaciones realizadas surgieron a partir de la retroalimentación obtenida durante el proceso de desarrollo y las pruebas preliminares, en las cuales se identificó la necesidad de fortalecer la integración estética entre las interfaces y el contexto ambiental del videojuego.

La **Figura 3.2** muestra la evolución de los paneles de preguntas y respuestas utilizados dentro de las actividades de selección de la experiencia. En el diseño inicial se utilizaron botones con colores contrastantes para representar las opciones disponibles, decisión que responde directamente al requerimiento de visibilidad de los elementos interactivos (RF-05).



Figura 3.2: Comparación entre el diseño inicial y la implementación final de los paneles de preguntas y respuestas.

Durante las diferentes iteraciones del desarrollo, se ajustaron aspectos relacionados con el tamaño de los textos, separación entre botones y ubicación de los paneles dentro del entorno tridimensional, con el fin de mejorar la comprensión visual y reducir posibles dificultades de interacción. En relación con la presentación de la información, la **Figura 3.3** presenta la evolución del diseño de los subtítulos dentro de la interfaz. Desde las primeras iteraciones se definió la necesidad de ubicar los subtítulos en una posición fija dentro del campo visual del usuario, utilizando un fondo contrastante que mejorara la legibilidad del texto.



Figura 3.3: Comparación entre el diseño inicial y la implementación final de los subtítulos dentro de la experiencia en RV.

A lo largo del proceso de diseño e implementación, la interfaz de subtítulos fue refinada progresivamente mediante ajustes relacionados con el tamaño tipográfico, contraste del fondo y ubicación dentro de la escena, buscando mantener la visibilidad de la información sin interferir con la exploración del entorno virtual. Estas modificaciones permitieron fortalecer el cumplimiento del requerimiento de retroalimentación visual (RF-04).

La **Figura 3.4** presenta la evolución de la interfaz diseñada para el minijuego de memoria. El boceto inicial proponía un panel central con un botón de reproducción que permitía al usuario iniciar la secuencia, sirviendo como punto de partida para introducir de manera clara la mecánica de la actividad.



Figura 3.4: Comparación entre el boceto inicial y la implementación final de la interfaz del minijuego de memoria.

Durante el desarrollo del prototipo, esta interfaz fue refinada progresivamente mediante diferentes iteraciones orientadas a mejorar la claridad visual, la organización de los elementos interactivos y la integración de la interfaz con el entorno narrativo del videojuego. Como resultado, la versión implementada en Unity incorpora un panel central semi-transparente que facilita la visualización de la información sin bloquear completamente el entorno virtual, así como elementos visuales más definidos para guiar al usuario durante la actividad.

Adicionalmente, se integraron componentes específicos como un botón de reproducción identificado con la opción “Escuchar”, un mensaje central de orientación para el usuario y esferas de colores utilizadas como referencia visual dentro de la dinámica del minijuego. Asimismo, se añadieron indicadores visuales de confirmación para reforzar la retroalimentación positiva durante la interacción.

Estos ajustes permitieron fortalecer la comprensión de la mecánica de memoria, mejorar la legibilidad de las instrucciones y mantener una estética visual coherente con el ambiente natural de selva implementado dentro del entorno de RV. De esta manera, las iteraciones realizadas contribuyeron al cumplimiento del requerimiento relacionado con la integración de instrucciones dentro de la experiencia (RF-06).

En conjunto, el diseño de interfaces se caracteriza por ser consistente, accesible y orientado a la guía del usuario. Asimismo, se priorizó un diseño visual sencillo y estructurado, evitando la sobrecarga de información en pantalla, con el fin de facilitar la comprensión y permitir que los usuarios se concentren en las actividades propuestas dentro de la experiencia.

En términos generales, el diseño de interfaces evolucionó progresivamente a lo largo de las diferentes iteraciones de desarrollo. Los bocetos iniciales sirvieron como punto de partida para definir la estructura visual y funcional del sistema; sin embargo, durante la implementación en Unity se realizaron múltiples ajustes derivados de revisiones técnicas, pruebas de interacción y retroalimentación proporcionada por el director del proyecto y profesionales del instituto participante.

Este proceso iterativo permitió mejorar aspectos relacionados con la accesibilidad visual, claridad de las instrucciones, distribución de elementos interactivos y legibilidad de la información dentro del entorno de RV, asegurando que las interfaces finales respondieran de manera más adecuada a las necesidades de la población objetivo y a los objetivos pedagógicos del prototipo.

3.3.7. Modelado y diagramas del sistema

Con el propósito de representar de manera formal la estructura, el comportamiento y la lógica de funcionamiento del sistema, se emplearon diferentes diagramas de modelado que permiten describir las interacciones principales del prototipo y la secuencia de ejecución de sus componentes. Para ello, se utilizaron diagramas de casos de uso, diagramas de flujo y máquinas de estado finito, cada uno orientado a representar una dimensión específica del sistema.

3.3.7.1. Diagramas de casos de uso

Los diagramas de casos de uso se emplearon para representar las principales interacciones entre el usuario y el sistema dentro de la experiencia de realidad virtual. Estos diagramas permiten identificar las funcionalidades disponibles para el jugador y la manera en que cada una de ellas se relaciona con las escenas y mecánicas implementadas en el prototipo.

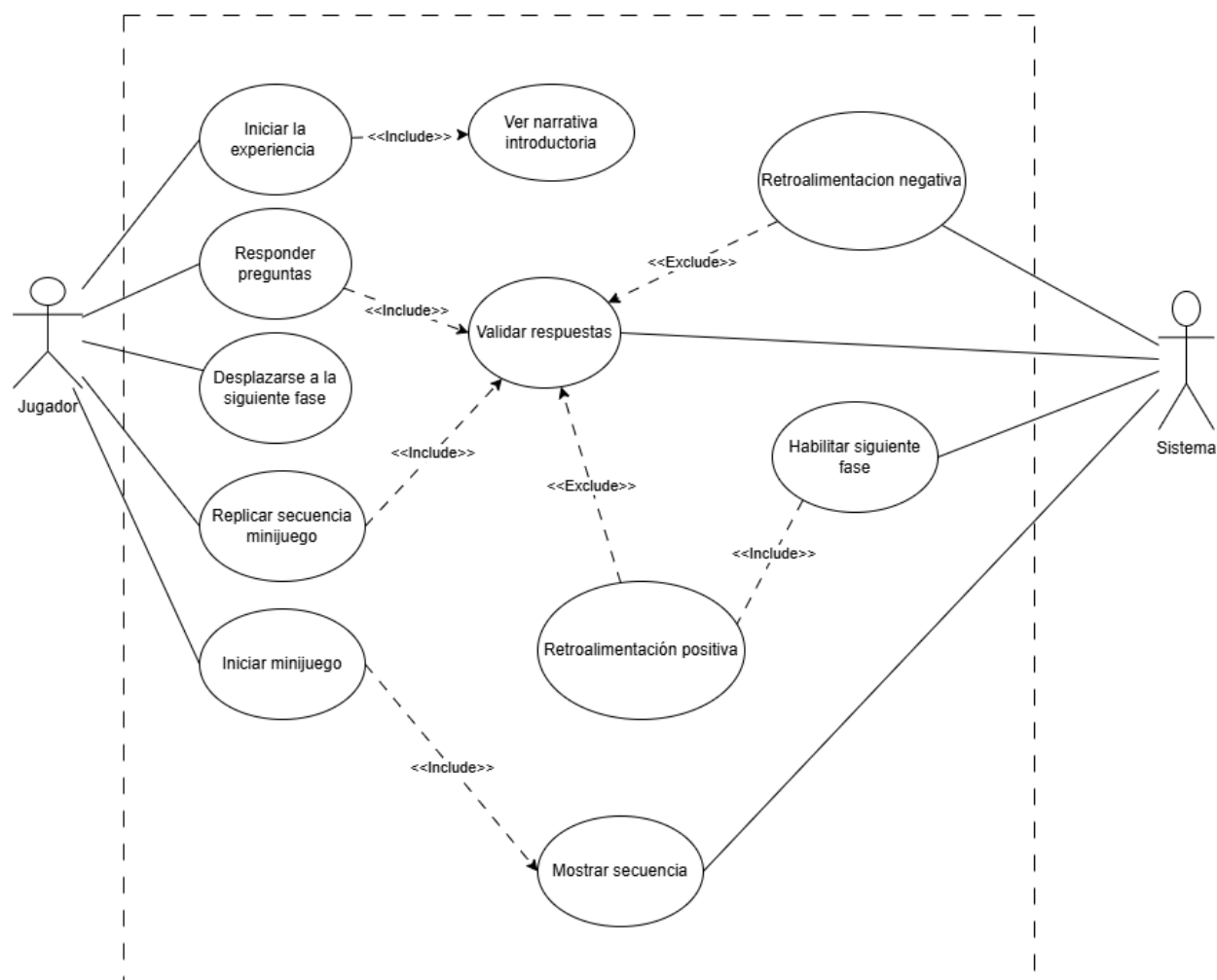


Figura 3.5: Diagrama de casos de uso del sistema

3.3.7.2. Diagramas de flujo

Los diagramas de flujo representan la secuencia lógica de acciones, validaciones y decisiones que ocurren durante la ejecución del videojuego. Para este proyecto se desarrollaron dos diagramas principales: el flujo general de la experiencia interactiva y el flujo correspondiente al minijuego de secuencia sonora.

Diagrama 1 – Flujo principal del juego

Dado que este diagrama presenta una estructura extensa y detallada de la lógica completa del sistema, su visualización dentro del cuerpo del documento no resulta adecuada por limitaciones de espacio y legibilidad, por lo que se ha dispuesto en el **Anexo E** para su consulta completa.

Diagrama 2 – Flujo del minijuego de secuencia sonora

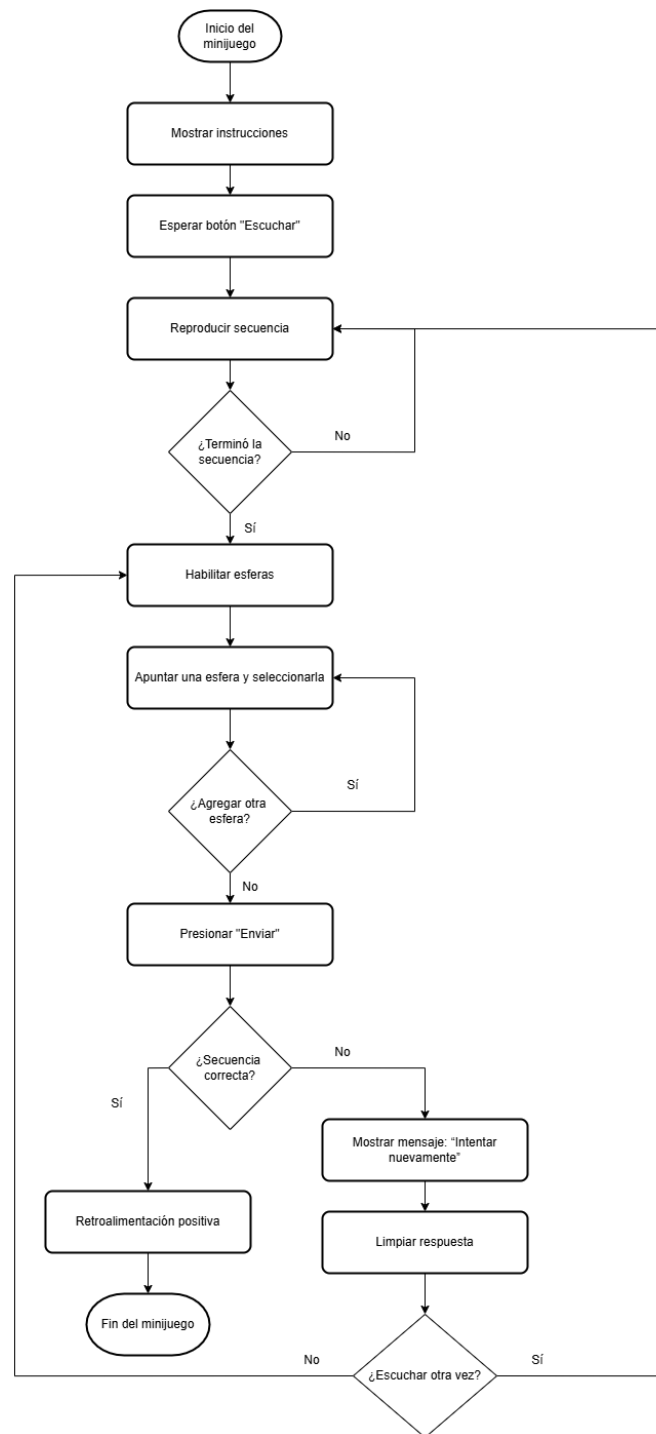


Figura 3.6: Flujo del minijuego de secuencia sonora

3.3.7.3. Máquinas de estado

Las máquinas de estado finito se utilizaron para modelar el comportamiento dinámico de algunos componentes interactivos del sistema, especialmente aquellos cuya lógica depende de cambios de estado asociados a eventos específicos. Este tipo de modelado permitió representar de manera estructurada las transiciones entre estados de interacción, validación y retroalimentación dentro de diferentes mecánicas del videojuego.

A través de estas máquinas de estado se definieron comportamientos como la activación y desactivación de objetos interactivos, la reproducción secuencial de eventos narrativos, el control de interacción durante los diálogos y las transiciones de las esferas interactivas del minijuego sonoro.

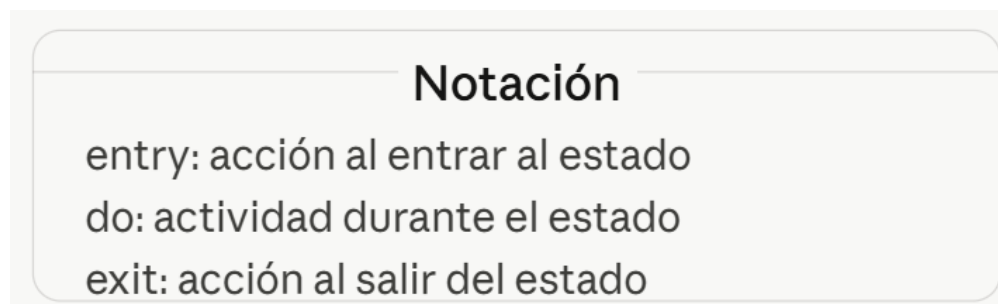


Figura 3.7: Notación para la máquina de estados

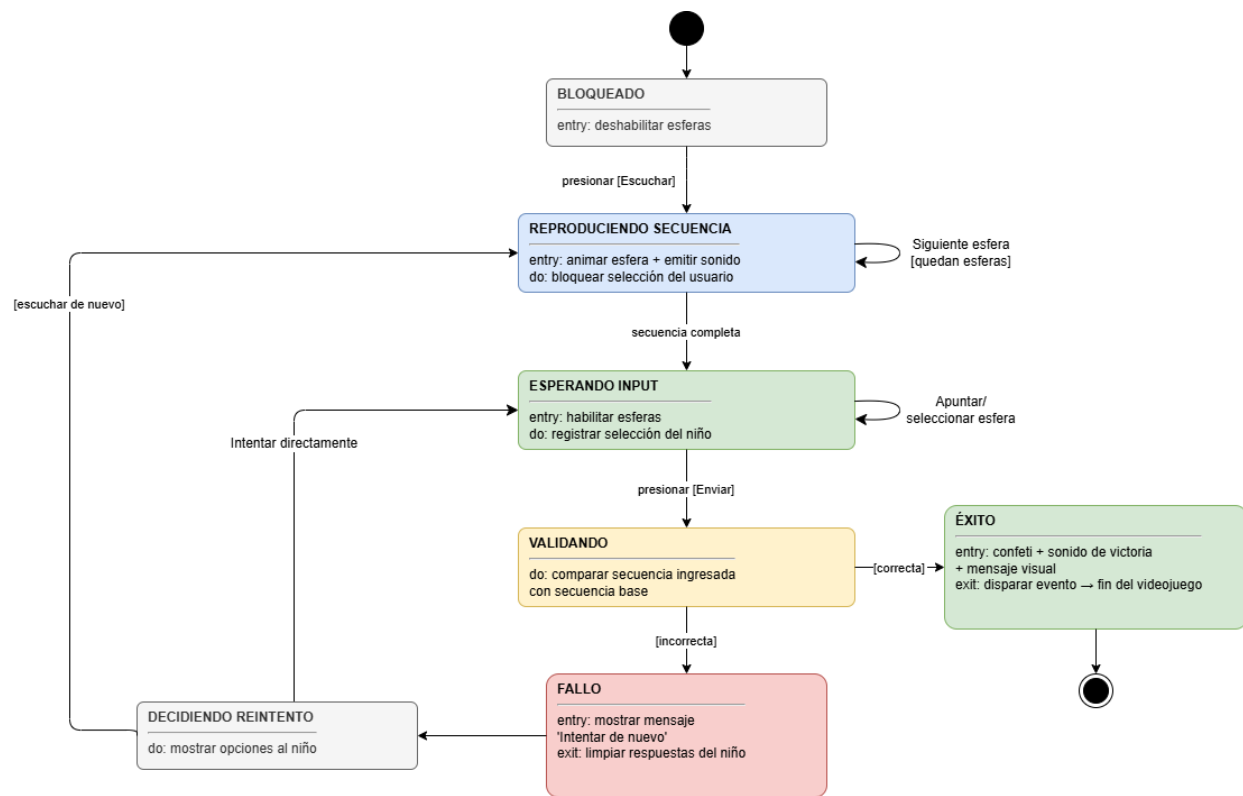


Figura 3.8: Máquina de estados de interacción del minijuego

Implementación

4.1. Implementación

4.1.1. Herramientas de desarrollo

4.1.1.1. Unity

Unity es un motor de desarrollo de videojuegos ampliamente utilizado para la creación de experiencias interactivas en 2D, 3D y realidad virtual. En este proyecto, se empleó como plataforma principal para la implementación del prototipo, permitiendo la integración de elementos gráficos, lógica de interacción, audio y narrativa en un entorno unificado.

Una de sus principales ventajas es su compatibilidad con dispositivos de realidad virtual, lo que facilitó la conexión e implementación con las gafas Meta Quest. Además, existe una amplia documentación en torno al desarrollo de aplicaciones en realidad virtual con interacciones similares a las implementadas en este prototipo. También ofrece soporte para sistemas de interacción como XR Interaction Toolkit, lo cual permite gestionar entradas del usuario (movimientos, gestos y controles) de manera eficiente.

4.1.1.2. Meta Quest 3S

Las gafas Meta Quest 3S son un dispositivo de realidad virtual autónomo que permite ejecutar aplicaciones inmersivas sin necesidad de conexión a un computador. Dentro de los trabajos previos enmarcados dentro del proyecto Colombia-Québec, se han usado como dispositivo de RV las gafas de la familia MetaQuest. De modo que, para mantener la compatibilidad entre diferentes dispositivos, el prototipo se diseñó y probó en las gafas MetaQuest 3S, facilitadas por la Pontificia Universidad Javeriana Cali.

Las gafas comprenden 3 dispositivos, incluyendo el visor y dos mandos. Los mandos cuentan con sensores y tecnología háptica que se configuró para hacer la experiencia más inmersiva y con retroalimentación adecuada.

Las gafas ofrecen una experiencia inmersiva e intuitiva, donde el usuario puede interactuar mediante movimientos naturales del cuerpo, especialmente de las manos y brazos. Esto resulta particularmente relevante para el enfoque del proyecto, orientado a niños con diversidades sensoriales, ya que permite diseñar interacciones más accesibles y basadas en la percepción espacial y el movimiento. Además, el dispositivo cuenta con sensores de seguimiento (*tracking*) que permiten detectar

la posición y orientación del usuario en tiempo real, facilitando la implementación de mecánicas como exploración, señalamiento y gestos.

4.1.1.3. Blender

Blender es una herramienta de modelado, animación y diseño 3D de código abierto. En este proyecto se utilizó para la creación y edición de los personajes y elementos del entorno, como el joven jaguar y otros animales presentes en la narrativa.

Entre sus ventajas se encuentra su capacidad para diseñar modelos optimizados para tiempo real, lo cual es fundamental en aplicaciones de realidad virtual, donde el rendimiento es crítico. Blender también permite la manipulación de *rigging* y animaciones, facilitando la preparación de personajes con movimientos expresivos y adecuados para la experiencia inmersiva. Adicionalmente, su integración con Unity mediante formatos como FBX permite un flujo de trabajo eficiente entre modelado y desarrollo.

4.1.2. Escenas

4.1.2.1. Arquitectura de escenas

La experiencia de realidad virtual fue diseñada alrededor de un recorrido guiado a través de un entorno virtual, en el cual el usuario avanza por distintos puntos narrativos hasta alcanzar el objetivo final de la historia: el reencuentro con la mamá jaguar. El mapa del recorrido se puede dividir en tres partes esenciales. En primer lugar, el camino desde la cueva hasta la orilla del río (Ver figura 4.1.), que comprende la salida de la cueva, el encuentro con el puma, seguido del gatopardo. En segundo lugar, el río (Ver figura 4.2.), donde se lleva a cabo la interacción motora. Por último, al otro lado del río (Ver figura 4.3.), donde se halla el mono aullador y la mamá jaguar, dando cierre a la historia.



Figura 4.1: Primera parte del recorrido virtual: vista panorámica.

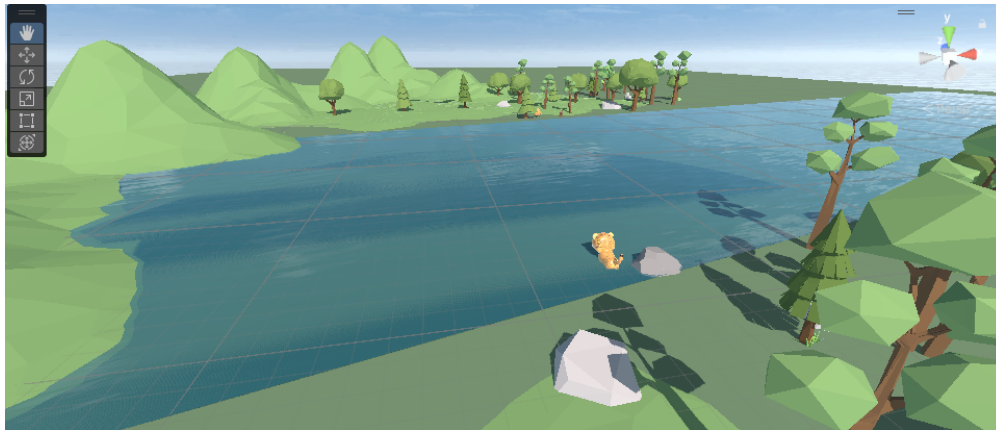


Figura 4.2: Segunda parte del recorrido virtual: vista panorámica.



Figura 4.3: Tercera parte del recorrido virtual: vista panorámica.

Para estructurar este recorrido, la búsqueda se organizó en cinco escenas independientes, decisión tomada principalmente por dos motivos. En primer lugar, se buscó reducir la cantidad de activos cargados simultáneamente, minimizando el número de polígonos procesados y favoreciendo el rendimiento del sistema. En segundo lugar, esta segmentación permitió una implementación más modular de los eventos narrativos e interacciones específicas de cada momento de la historia.

Cada escena comparte una estructura base que se repite a lo largo de la experiencia: un momento inicial de contextualización provisto por el narrador, seguido de una pregunta que el usuario debe responder correctamente para continuar. Al hacerlo, el narrador guía al niño hacia el siguiente punto del mapa, reiniciando el ciclo. Esta estructura fue pensada para mantener al usuario infantil orientado dentro de la narrativa, reduciendo la posibilidad de desorientación en el entorno virtual.

Entre las 5 escenas mencionadas, la correspondiente a la actividad de movimiento no cuenta con un componente que gestione la escena, pues sólomente se reconfiguró el movimiento del jugador de modo que se desplace con el movimiento de las manos y no con el botón grip.

4.1.2.2. Gestión de narrativa e interacción

La lógica de este ciclo se implementó mediante un *script* desarrollado en C#. Para ilustrar esta estructura, se describen los componentes presentes en la escena de introducción, tomando como referencia el *script* **GestionEscenaVR**, visible en la Figura 4.4. Este componente centraliza el control de la secuencia narrativa, coordinando la aparición de elementos visuales, la reproducción de audio y la progresión de las interacciones requeridas por el usuario.

Para ello, recibe referencias a los elementos de interfaz de usuario, incluyendo los *canvas* correspondientes a subtítulos, videos y botones interactivos, permitiendo su activación o desactivación según el momento narrativo. Adicionalmente, recibe una referencia al elemento **TextMeshProUGUI** encargado de mostrar los subtítulos sincronizados con la narración, así como los clips de audio utilizados durante la escena. Los subtítulos sincronizados, en particular, buscan facilitar la comprensión narrativa en usuarios con limitaciones auditivas, favoreciendo la accesibilidad de la experiencia.

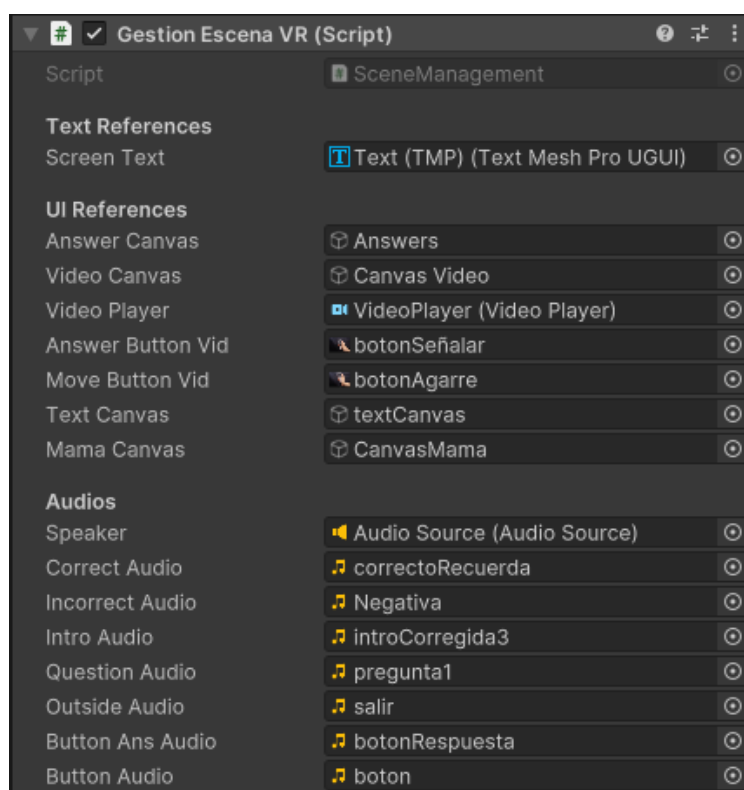


Figura 4.4: Componente de gestión de escena en la introducción.

4.1.2.3. Gestión de movimiento

Con el fin de desacoplar el comportamiento de los distintos componentes del sistema, se implementó un mecanismo de comunicación entre módulos basado en eventos delegados de C#, siguiendo el patrón *publish-subscribe*. Este enfoque permitió sincronizar elementos como el movimiento del jugador, las animaciones de personajes y la activación de eventos narrativos sin establecer dependencias directas entre *scripts*, favoreciendo la modularidad y el mantenimiento del código.

El movimiento del jugador sigue un recorrido predefinido basado en *waypoints*, tal como se describe en la sección 3.3.2. El elemento **XR Origin**, correspondiente al jugador dentro del entorno de realidad virtual, contiene como subcomponentes los *canvas* visibles durante la experiencia y el activo asociado al joven jaguar, como se muestra en la Figura 4.5. Sobre este objeto se implementó el componente de movimiento presentado en la Figura 4.6, encargado de gestionar el desplazamiento del usuario a lo largo del recorrido. La activación del movimiento se realiza mediante el botón *grip* de los controles de RV y depende de señales emitidas por el sistema de gestión narrativa, permitiendo restringir el desplazamiento hasta que se cumplan las condiciones establecidas en cada momento de la escena.



Figura 4.5: Jerarquía de XR Origin.

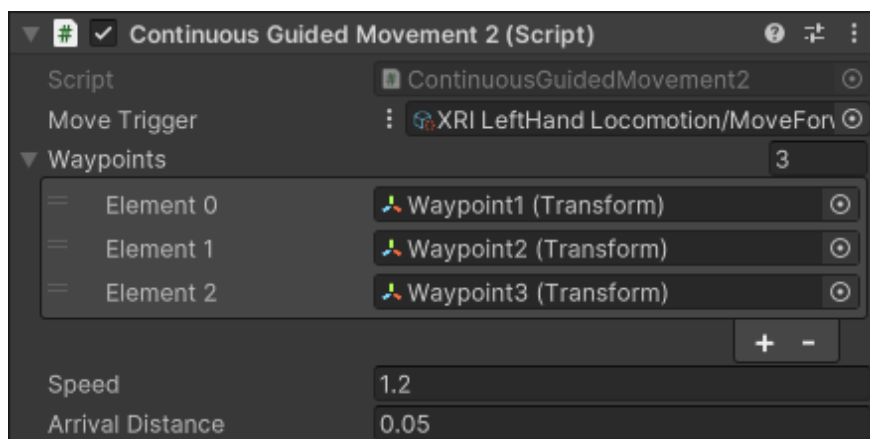


Figura 4.6: Componente de movimiento de escena en la introducción.

De manera similar, las demás escenas utilizan estas estructuras con sus respectivas variaciones según los requerimientos narrativos de cada momento.

4.1.3. Minijuego

El minijuego de memoria secuencial constituye la actividad final de la experiencia narrativa, presentada como una dinámica de cierre posterior al reencuentro del joven jaguar con su mamá. En ella, el usuario observa una secuencia de señales visuales y sonoras emitidas por tres esferas interactivas presentes en el entorno, y posteriormente debe reproducirla en el mismo orden. Para ello, el usuario apunta a cada esfera mediante el puntero láser del control de RV y realiza la selección mediante la activación del botón trigger del control Meta Quest 3, consolidando así una interacción de apuntado y confirmación. Al completarla correctamente, la experiencia narrativa concluye.

La escena que alberga el minijuego, denominada **Minijuego**, se compone de los siguientes elementos jerárquicos principales: el subsistema de iluminación y volumen global bajo --- **Sistema** ---; el conjunto de gestores XR bajo -- **XR.Managers** --, que incluye el **XR Interaction Manager** y el **Input Action Manager**; el objeto --- **Jugador** ---, que contiene el **XR Origin (XR Rig)** con la cámara y los controles; el **GameManager**, encargado de la lógica global del juego; el **BlockingCanvas**, el cual agrupa las interfaces de usuario del minijuego, incluyendo el canvas de botones interactivos y el canvas de retroalimentación textual; el grupo --- **Esferas** ---, conformado por **Sphere1**, **Sphere2** y **Sphere3**; el grupo --- **Efectos** ---, que contiene el sistema de partículas **ConfettiVFX**; y el **VideoTutorial**, que reproduce una introducción visual antes de comenzar la actividad. Esta organización se puede observar en la Figura 4.7.

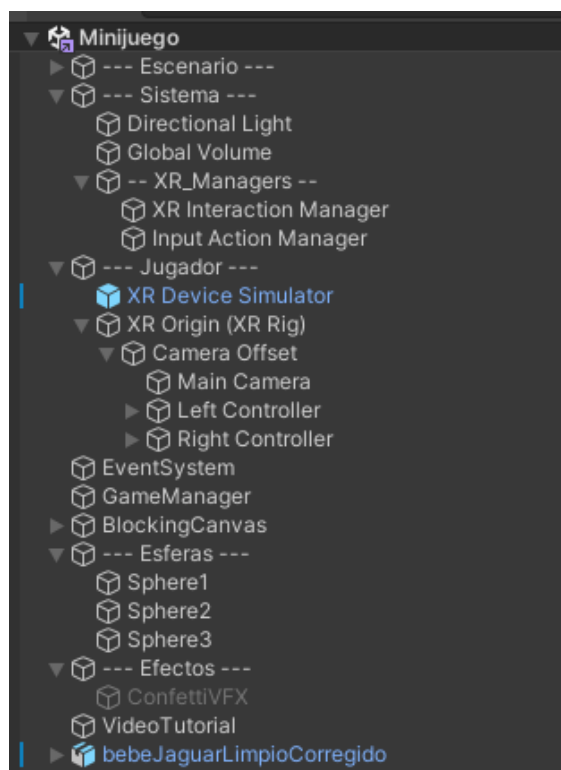


Figura 4.7: Jerarquía de la escena del minijuego.

La lógica de la mecánica fue implementada en dos *scripts* desarrollados en C#: `SequenceGameManager` y `SphereInteractable`. El primero centraliza el controlador del flujo de juego, mientras que el segundo gestiona el comportamiento individual de cada esfera.

4.1.3.1. Estructura de estados del juego

El componente `SequenceGameManager`, adjunto al objeto `GameManager` como se ilustra en la Figura 4.8, organiza la experiencia mediante una máquina de estados compuesta por cinco fases: `Tutorial`, `Idle`, `Listening`, `Playing` y `Validating`. La Figura 4.9 presenta el diagrama de estados completo con las condiciones que desencadenan cada transición.

En el estado `Tutorial`, la interacción está completamente bloqueada mientras se reproduce el video introductorio. Al finalizar este, el sistema transita al estado `Idle`, en el que únicamente el botón *Escuchar* permanece habilitado. Al presionarlo, el sistema pasa al estado `Listening` y ejecuta la demostración de la secuencia correcta, desactivando temporalmente las esferas y los botones. Una vez concluida la demostración, el estado cambia a `Playing`, habilitando las esferas para que el usuario construya su respuesta. Finalmente, al presionar el botón *Enviar*, el sistema entra en el estado `Validating`, donde compara la secuencia del jugador con la correcta y emite la

retroalimentación correspondiente.

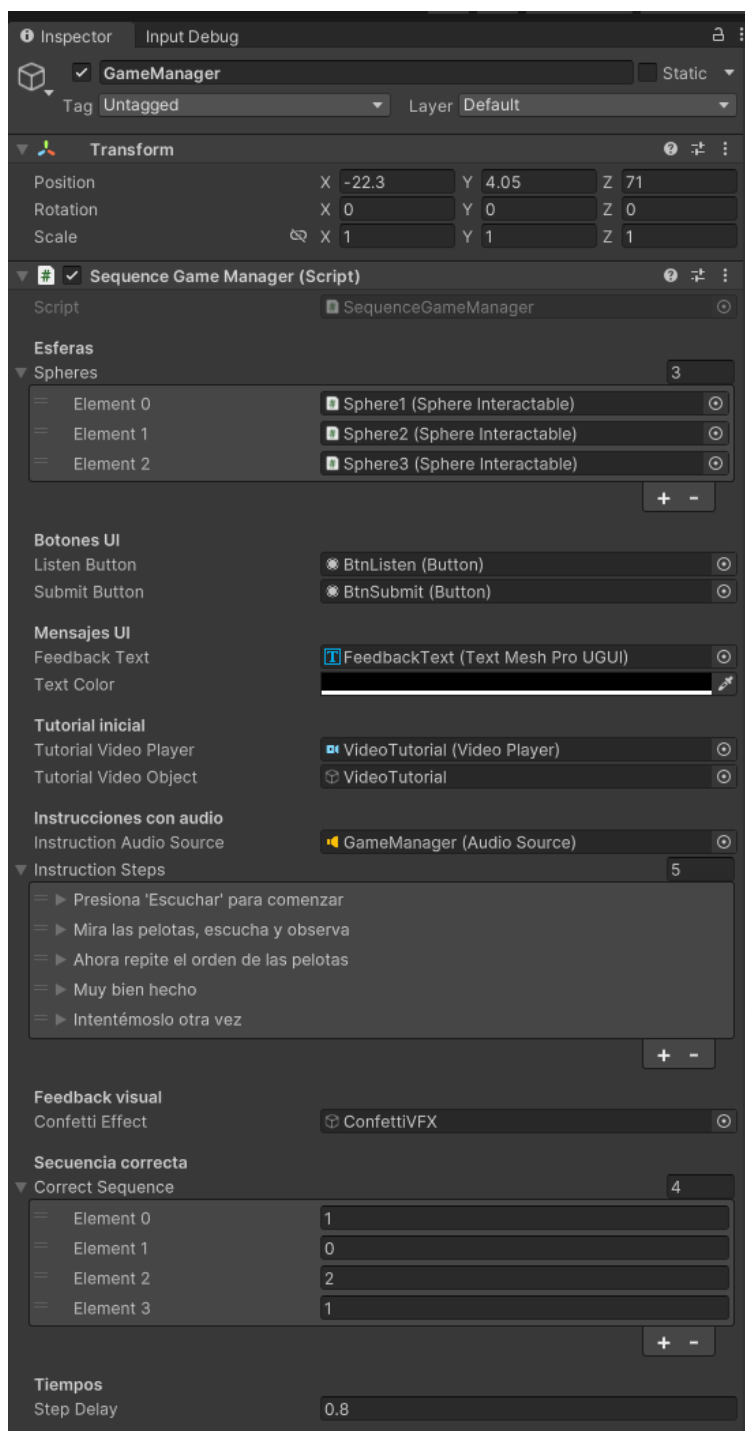


Figura 4.8: Componente de gestión del minijuego (SequenceGameManager).

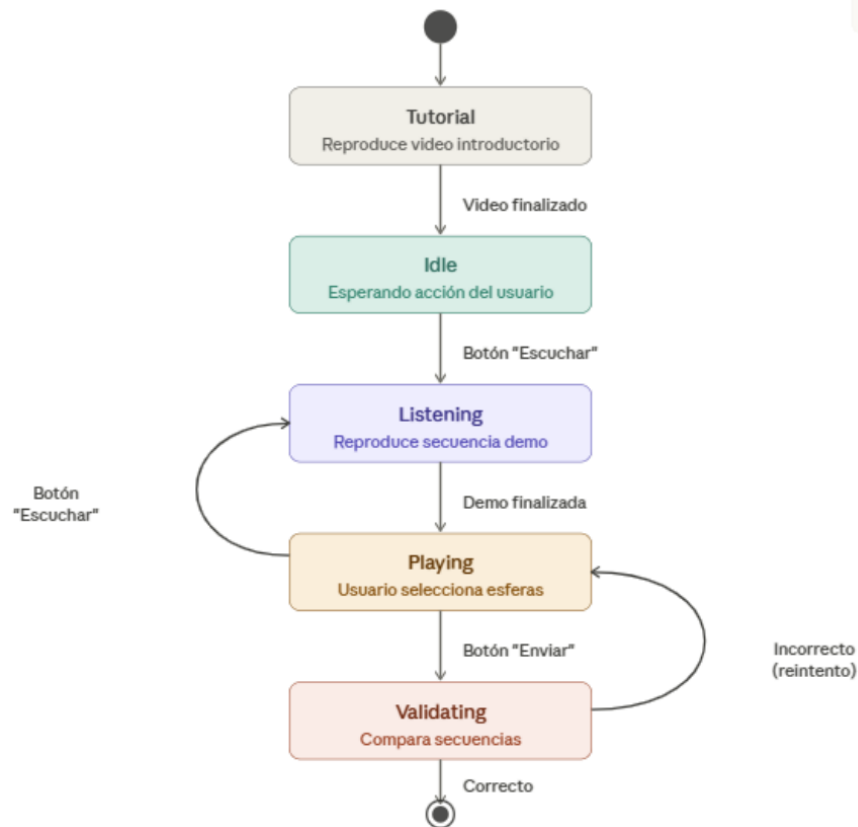


Figura 4.9: Diagrama de estados del minijuego de secuencia sonora.

4.1.3.2. Gestión de instrucciones y retroalimentación multimodal

Cada transición de estado significativa va acompañada de un mensaje textual desplegado en el elemento `FeedbackText` y de un clip de audio reproducido por el `AudioSource` del `GameManager`. Estos mensajes se almacenan en el arreglo serializable `InstructionStep[]`, el cual asocia un texto y un clip de audio para cada momento del juego: invitación a escuchar la secuencia, presentación de la secuencia, turno del jugador, respuesta correcta e invitación a reintentar. La duración del mensaje en pantalla está sincronizada con la extensión del clip de audio correspondiente, de modo que el texto desaparece exactamente cuando termina la narración.

4.1.3.3. Demostración de la secuencia

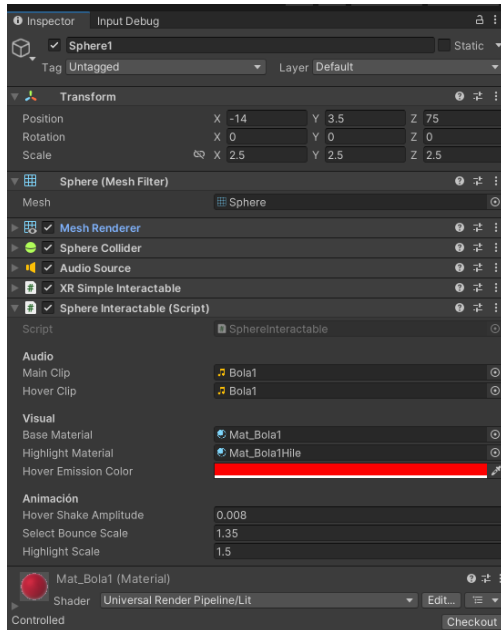
Al presionar el botón *Escuchar*, la corrutina `PlayDemoSequence` recorre el arreglo `correctSequence` y, para cada índice, invoca el método `PlayHighlight` de la esfera correspondiente. Este método activa en la esfera una animación de escala creciente y decreciente acompañada de la reproducción de su clip de audio propio. Entre cada esfera destacada se introduce una pausa configurable me-

dianete el parámetro `stepDelay`, evitando solapamientos perceptivos entre los estímulos.

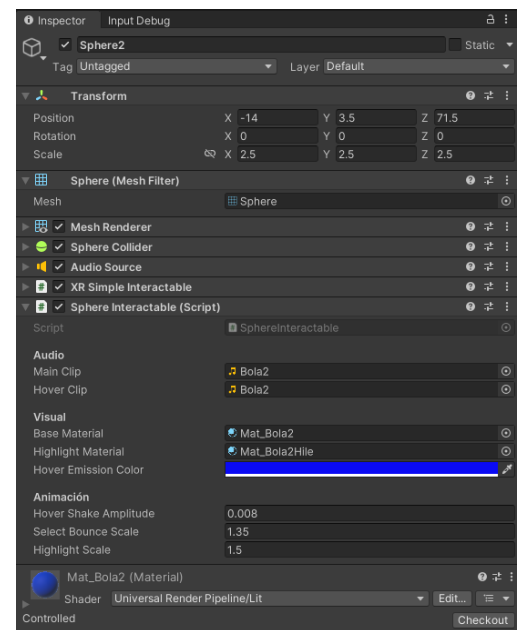
4.1.3.4. Interacción con las esferas

Cada objeto esfera cuenta con el componente `SphereInteractable`, cuya configuración en el Inspector se puede observar en las Figuras 4.10a, 4.10b y 4.10c, correspondientes a `Sphere1`, `Sphere2` y `Sphere3` respectivamente. Este *script* requiere un `XRSimpleInteractable` y un `AudioSource`, y suscribe escuchas a los eventos `hoverEntered`, `hoverExited` y `selectEntered` del paquete XR Interaction Toolkit.

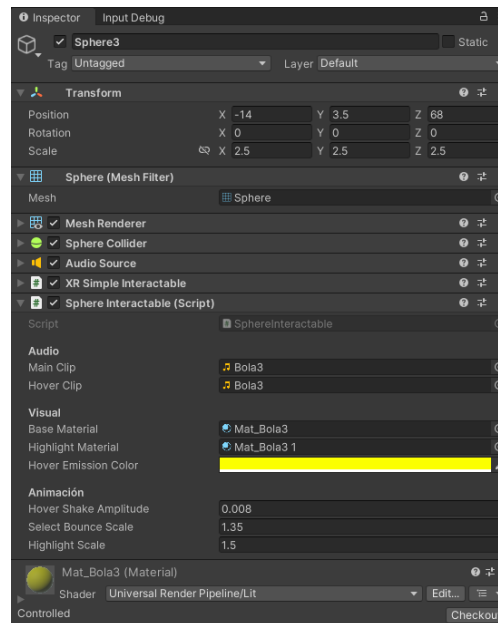
Al acercar el puntero, la esfera reproduce un sonido suave, cambia a su material de *highlight* y ejecuta una animación de vibración sinusoidal continua mediante la corrutina `ShakeLoop`. Al retirar el puntero, la esfera retorna a su material base y detiene la animación. Al seleccionarla con el láser, el evento `OnSphereSelected` notifica al `SequenceGameManager`, el cual registra el índice en la lista `playerSequence`, reproduce la animación de rebote mediante `SelectAnimation` y emite un impulso háptico en el control. La interactividad de cada esfera puede habilitarse o desactivarse mediante programación, a través del método `SetInteractable`, lo que permite al gestor de estados controlar con precisión cuándo el usuario puede interactuar y cuándo no.



(a) Sphere1



(b) Sphere2



(c) Sphere3

Figura 4.10: Componentes de los objetos Sphere del sistema.

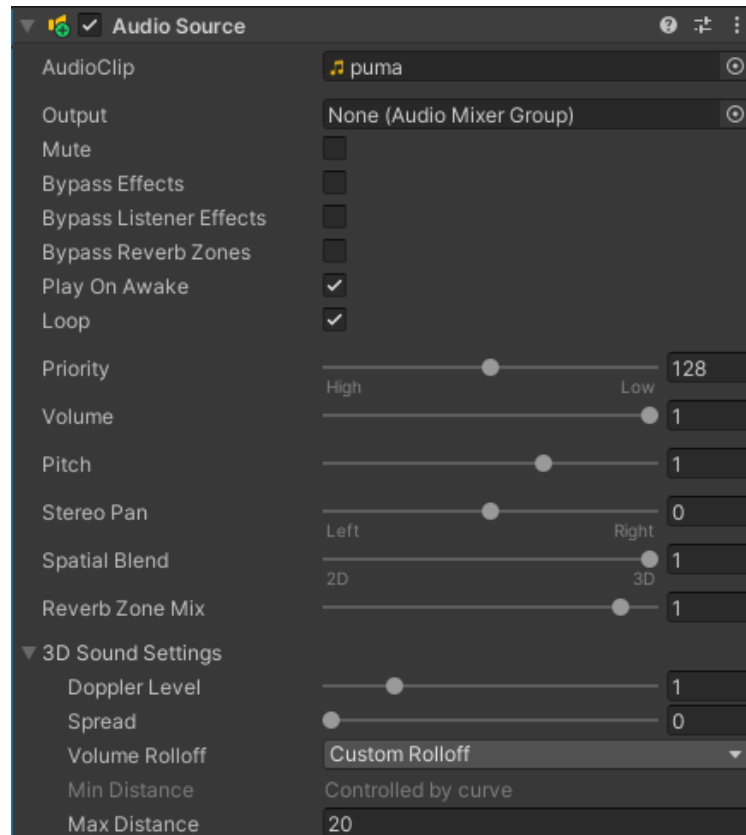
4.1.3.5. Validación y cierre de la experiencia

Al presionar *Enviar*, la corrutina `ValidateSequence` compara elemento a elemento la lista `playerSequence` con el arreglo `correctSequence`. Si la longitud o algún elemento no coincide, el sistema ejecuta `ShowError`, que emite un pulso háptico prolongado, muestra el mensaje de reintento con su audio correspondiente y reinicia la lista del jugador retornando al estado `Playing` para una nueva oportunidad. Si la secuencia es correcta, se ejecuta `ShowSuccess`, que activa el efecto de partículas `ConfettiVFX`, emite un doble pulso háptico de celebración y, al finalizar el audio de éxito, concluye la experiencia completa del videojuego, cerrando así el arco narrativo iniciado al comienzo de la historia.

4.1.4. Entorno inmersivo

4.1.4.1. Sonidos

Para enriquecer la experiencia inmersiva del entorno, se configuró el componente `Audio Source` de Unity en cada uno de los activos de animales presentes en la escena, como se muestra en la Figura 4.11. A cada activo se le asignó un clip de audio correspondiente al sonido característico de la especie representada. La reproducción es manejada a través de un *script* que, al igual que el movimiento de los personajes, recibe señales del código encargado del manejo de la escena para activar o desactivar los sonidos en momentos diferentes.

Figura 4.11: Componente de *audioSource* del puma.

Con el fin de simular un comportamiento acústico realista, se habilitó el modo de audio tridimensional mediante la propiedad **Spatial Blend** configurada en su valor máximo (1.0), lo que permite que Unity procese el sonido en función de la posición relativa entre el activo y el oyente. Adicionalmente, se definió una curva de atenuación personalizada (*Custom Rolloff*) para cada fuente de sonido, estableciendo una distancia máxima dependiendo de qué tan próximo o lejano está el animal del jugador, dentro de la cual el volumen crece de forma gradual a medida que el usuario se acerca al animal. Este comportamiento replica la forma en que los sonidos se perciben en entornos naturales, reforzando la sensación de presencia e inmersión dentro del ecosistema virtual.

4.1.4.2. Hápticas

En cuanto a la experiencia de interacción en el entorno de realidad virtual, se implementó retroalimentación háptica en los elementos de respuesta presentes en la escena. Cada opción de respuesta fue configurada con el componente **XR Simple Interactable** del paquete **XR Interaction Toolkit** de Unity, el cual permite detectar eventos de interacción provenientes del *Ray Interactor* asociado a los controles del dispositivo de RV.

Con el fin de proporcionar una señal táctil al usuario en el momento en que dirige su puntero hacia una opción, se desarrolló el *script* `VibrationButton`, el cual se suscribe al evento de *hover* del componente `XR Simple Interactable` y activa una vibración en ambos controles mediante las referencias a sus respectivos `Action Based Controllers`. Esta retroalimentación háptica refuerza la percepción de que los elementos de la interfaz son interactivables, aumentando la sensación de presencia dentro del entorno virtual.

4.1.5. Personajes

Los personajes principales de la narrativa (mamá jaguar, joven jaguar, puma, gatopardo y mono aullador) fueron modelados y texturizados en Blender. Debido a la similitud morfológica entre las especies felinas presentes en la historia, se adoptó una estrategia de reutilización de recursos, partiendo de una estructura base común para la construcción de los modelos. Las mallas finales de los personajes felinos se presentan en las Figuras 4.12, 4.13, 4.14 y 4.15, correspondientes a la mamá jaguar, el joven jaguar, el puma y el gatopardo, respectivamente.

Por otro lado, el mono aullador (ver Figura 4.16) tiene una estructura totalmente diferente. Y, aunque se tomó el modelo y el esqueleto de un recurso gratuito, se le diseñó su propia textura y se creó una animación a partir de la original que venía con el rig.



Figura 4.12: Malla completada de la mamá jaguar



Figura 4.13: Malla completada del joven jaguar



Figura 4.14: Malla completada del puma



Figura 4.15: Malla completada del gatopardo



Figura 4.16: Malla completada del mono Aullador

Con el propósito de facilitar la implementación y mantener uniformidad en los movimientos, a los personajes felinos se les asignó una estructura esquelética compartida (*rig*), aprovechando las similitudes anatómicas entre ellos. Esta decisión permitió reutilizar configuraciones de movimiento y reducir el esfuerzo asociado a la animación individual de cada personaje.

Cada felino fue configurado con dos estados principales de animación: un estado de reposo (*idle*)

y un estado de desplazamiento o caminata. La animación de caminata fue utilizada como base para la construcción del sistema de movimiento, mientras que el estado de reposo fue ajustado para representar momentos de inactividad del personaje dentro de la narrativa.

Una vez integrados en Unity, los personajes fueron configurados mediante un sistema compuesto por componentes de control de movimiento, control de animación y un **Animator**, como se muestra en la Figura 4.17. El desplazamiento de los personajes es gestionado por *scripts* de movimiento que reciben señales provenientes del sistema de gestión de escena, permitiendo habilitar o restringir acciones de acuerdo con el progreso narrativo.

De manera complementaria, el estado de animación de cada personaje se sincroniza automáticamente con su comportamiento dentro de la escena. Cuando un personaje inicia un desplazamiento, el sistema envía una señal al controlador de animación para realizar la transición desde el estado de reposo hacia el estado de caminata dentro del **Animator Controller**, mostrado en la Figura 4.18. Al finalizar el movimiento, el personaje retorna automáticamente a su estado de reposo, permitiendo mantener coherencia visual entre la narrativa y las acciones observadas por el usuario.

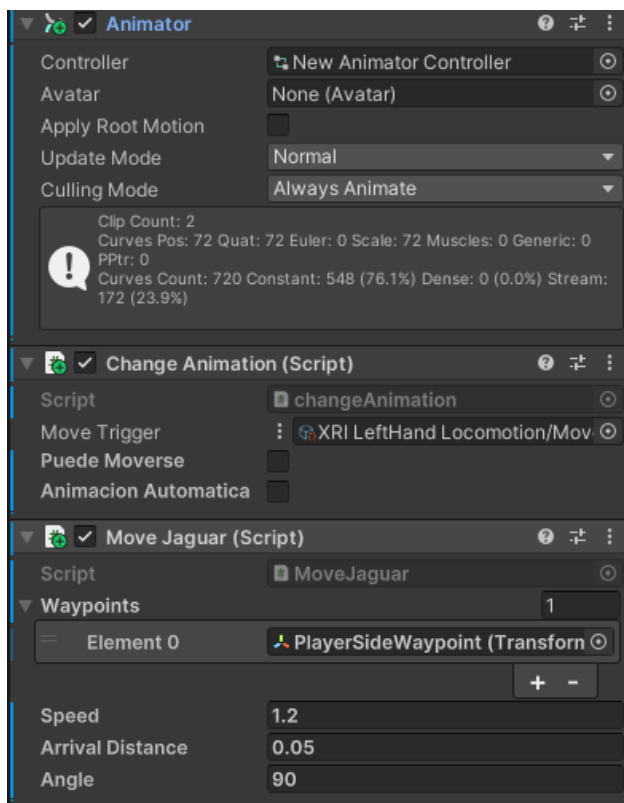


Figura 4.17: Componentes del *asset* joven jaguar

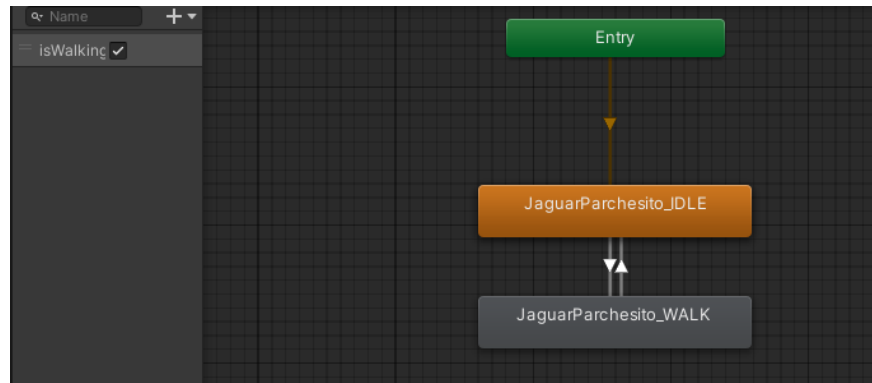


Figura 4.18: Animator Controller del joven jaguar.

Pruebas y Resultados

5.1. Enfoque de pruebas y validación

El proceso de pruebas y validación del prototipo se desarrolló de manera continua e integrada al ciclo de desarrollo, en coherencia con la metodología ágil inspirada en Scrum adoptada para el proyecto. Bajo este enfoque, las iteraciones semanales incluían actividades de implementación, prueba y ajuste, facilitando la identificación de errores funcionales y la incorporación progresiva de mejoras sobre el sistema.

Durante el desarrollo, cada escena o funcionalidad era evaluada después de su integración dentro del entorno de realidad virtual. Estas pruebas ayudaban a verificar el comportamiento de las mecánicas de interacción, la ejecución de secuencias narrativas, la reproducción de elementos audiovisuales y la estabilidad general del prototipo antes de avanzar hacia nuevas funcionalidades.

Las validaciones fueron realizadas de forma continua por las desarrolladoras del proyecto mediante pruebas prácticas y exploratorias en Unity, evaluando constantemente el comportamiento del sistema a medida que se incorporaban nuevas escenas e interacciones. Adicionalmente, el proceso incluyó revisiones por parte del director del proyecto de grado y pruebas exploratorias con compañeros, enfocadas en aspectos de jugabilidad, accesibilidad y comprensión narrativa.

Finalmente, en las etapas finales del desarrollo se realizaron validaciones más estructuradas con profesionales del Instituto para Niños Ciegos y Sordos del Valle del Cauca, con el propósito de evaluar aspectos relacionados con accesibilidad, usabilidad y comprensión general del sistema. Las observaciones obtenidas contribuyeron a la realización de ajustes adicionales antes de consolidar la versión final del prototipo.

En términos generales, el enfoque de pruebas y validación estuvo orientado a garantizar la estabilidad técnica del sistema y optimizar progresivamente la experiencia del usuario dentro del entorno de realidad virtual.

5.2. Validaciones iterativas durante el desarrollo

Las validaciones iterativas realizadas durante el desarrollo del prototipo contribuyeron a evaluar continuamente el comportamiento del sistema y a realizar ajustes progresivos sobre las diferentes

funcionalidades implementadas. Estas pruebas se integraron dentro de las iteraciones de desarrollo como parte del proceso continuo de implementación, revisión y optimización, manteniendo coherencia con el enfoque ágil inspirado en Scrum adoptado para el proyecto.

A medida que se desarrollaban nuevas escenas, mecánicas e interfaces, se ejecutaban pruebas funcionales y exploratorias orientadas a verificar aspectos técnicos, narrativos y de interacción dentro del entorno de realidad virtual. Las observaciones derivadas de estas validaciones ayudaron a localizar errores funcionales y refinar gradualmente la experiencia del usuario antes de incorporar nuevas funcionalidades al sistema.

5.2.1. Pruebas internas y exploratorias

Las pruebas internas y exploratorias fueron realizadas de manera continua durante la implementación del prototipo mediante sesiones de prueba dentro del entorno de Unity. Estas validaciones tenían como objetivo comprobar la estabilidad general del sistema, el comportamiento de las interacciones y la coherencia de la experiencia narrativa.

En relación con la interacción dentro del entorno virtual, se realizaron pruebas orientadas a verificar el sistema de selección mediante raycast, la respuesta de los botones interactivos y la detección de acciones a través de los controles de RV. Asimismo, se evaluó el comportamiento de los eventos interactivos asociados a cada escena y la correcta activación de las acciones definidas dentro de la experiencia.

De forma complementaria, también se revisó la activación de retroalimentación háptica al interactuar con determinados elementos del entorno, con el fin de comprobar la respuesta del sistema y reforzar la percepción de interacción dentro de la experiencia inmersiva.

Respecto a la narrativa y al flujo de la experiencia, las pruebas ayudaron a comprobar la reproducción secuencial de audios y diálogos, la continuidad entre escenas y la correcta ejecución de las secuencias narrativas dentro del videojuego. Además, se realizaron revisiones relacionadas con la sincronización entre audio y subtítulos, el contraste visual de los elementos interactivos y la claridad de las interfaces implementadas dentro del entorno virtual.

Durante estas validaciones también se identificaron errores técnicos asociados al funcionamiento de colliders, la activación de eventos interactivos y la detección de selección mediante raycast.

Adicionalmente, algunas pruebas exploratorias fueron realizadas con compañeros, quienes interactuaban directamente con el prototipo mientras las desarrolladoras observaban su comportamiento dentro de la experiencia. Estas sesiones ayudaron a identificar dificultades de interacción, evaluar la comprensión de las instrucciones y obtener observaciones generales relacionadas con la jugabilidad y la navegación dentro del entorno virtual.

5.2.2. Retroalimentación obtenida durante las iteraciones

Durante las iteraciones de desarrollo se obtuvieron diversas observaciones relacionadas con la interacción, la comprensión de las mecánicas y la accesibilidad visual del sistema. Estas observaciones surgieron a partir de pruebas exploratorias realizadas por las desarrolladoras, compañeros y revisiones continuas dentro del entorno de realidad virtual, y contribuyeron al refinamiento progresivo de diferentes componentes del prototipo.

En relación con la interacción mediante controles de RV, una de las principales dificultades identificadas estuvo asociada al sistema de selección por raycast. Inicialmente, el puntero de interacción no era visible dentro del entorno, lo que ocasionaba dificultades para apuntar correctamente hacia los objetos interactivos. Asimismo, algunos usuarios presentaban confusión respecto al uso de los controles, especialmente en la identificación del botón o trigger necesario para ejecutar determinadas acciones dentro de la experiencia. Estas observaciones motivaron ajustes orientados a mejorar la claridad de la interacción y facilitar el uso de los controles dentro del entorno virtual.

También se observaron dificultades relacionadas con la percepción de respuesta de los elementos interactivos. En algunos casos, los usuarios no lograban identificar con claridad si un botón había sido seleccionado correctamente, generando incertidumbre durante la interacción. De forma similar, las primeras implementaciones del sistema de locomoción ocasionaban confusión debido a que algunos usuarios interpretaban que el desplazamiento se activaba mediante una única pulsación del control, en lugar de mantener presionado el botón correspondiente. Estas situaciones dieron lugar a modificaciones progresivas sobre las mecánicas de interacción y la retroalimentación visual del sistema.

Respecto a la narrativa y comprensión de las actividades, las pruebas evidenciaron que las instrucciones generales del sistema eran comprendidas adecuadamente en la mayoría de las escenas. Sin embargo, en el minijuego final se identificaron dificultades relacionadas con la comprensión de la dinámica de interacción y la secuencia esperada por parte del usuario, lo que llevó a replantear algunos elementos de orientación y apoyo dentro de la actividad.

En términos de accesibilidad visual, se identificaron observaciones relacionadas con la legibilidad de los subtítulos y la visibilidad de algunos elementos relevantes dentro del entorno. Inicialmente, el contraste visual de los subtítulos dificultaba su lectura dentro de determinadas escenas. Adicionalmente, se observó que algunos usuarios no identificaban fácilmente ciertos personajes o elementos importantes del entorno debido a distracciones visuales generadas por la ambientación de la escena. Estas observaciones favorecieron la incorporación de mejoras orientadas a reforzar la claridad visual y la percepción de elementos relevantes dentro de la experiencia.

Durante las validaciones también se detectaron errores técnicos asociados al funcionamiento de botones interactivos, la detección mediante raycast y la configuración de los *Input Managers*. En algunos casos, los botones no respondían correctamente al intento de selección, afectando la

ejecución esperada de determinadas acciones. De igual manera, se presentaron fallas relacionadas con la retroalimentación háptica debido a problemas en la detección de *colliders*, ocasionando inconsistencias en la activación de la vibración durante la interacción. La identificación temprana de estos inconvenientes facilitó la realización de ajustes técnicos progresivos durante el desarrollo del prototipo.

5.3. Evaluación con profesionales del instituto

Con el propósito de realizar una validación más estructurada del prototipo, en las etapas finales del desarrollo se llevaron a cabo pruebas con profesionales del Instituto para Niños Ciegos y Sordos del Valle del Cauca. La evaluación fue desarrollada como parte del proceso iterativo de validación del proyecto, permitiendo complementar las pruebas exploratorias realizadas durante la implementación con retroalimentación proveniente de profesionales vinculados al trabajo con población infantil con diversidades sensoriales. La participación de diferentes perfiles profesionales favoreció la obtención de múltiples perspectivas relacionadas con interacción, orientación, comprensión y accesibilidad dentro de la experiencia desarrollada.

Durante las sesiones de evaluación, los participantes interactuaron directamente con el prototipo y posteriormente respondieron un instrumento de evaluación orientado a recopilar datos cualitativos y cuantitativos sobre distintos aspectos del sistema. Entre los elementos evaluados se incluyeron la comprensión de la narrativa, la claridad de las instrucciones, la accesibilidad de la experiencia, la organización de las actividades y la adecuación del entorno virtual para la población objetivo.

Las observaciones y recomendaciones obtenidas durante estas pruebas contribuyeron al refinamiento del prototipo y a la implementación de ajustes adicionales relacionados con la narrativa, la organización de actividades y la experiencia general de interacción antes de consolidar la versión final del prototipo.

5.3.1. Objetivos y alcance de la evaluación

La evaluación realizada con profesionales del Instituto para Niños Ciegos y Sordos del Valle del Cauca tuvo como objetivo obtener retroalimentación especializada sobre diferentes aspectos del prototipo desarrollado, particularmente aquellos relacionados con usabilidad, accesibilidad, comprensión narrativa e interacción dentro del entorno de realidad virtual. Asimismo, se buscó identificar posibles oportunidades de mejora que contribuyeran al refinamiento de la experiencia antes de consolidar la versión final del sistema.

De manera específica, la evaluación estuvo orientada a analizar la percepción general del prototipo, la claridad de las instrucciones, la continuidad de la narrativa, la organización de las actividades, la accesibilidad visual y auditiva de la experiencia y la adecuación del entorno virtual para la población infantil objetivo. Adicionalmente, las pruebas permitieron recopilar observaciones relacionadas

con la experiencia de interacción, la comprensión de las mecánicas implementadas y el potencial pedagógico del prototipo dentro de contextos educativos inclusivos.

El alcance de esta evaluación se centró principalmente en la validación de aspectos funcionales, narrativos y de accesibilidad del prototipo mediante la observación y retroalimentación de profesionales con experiencia en el trabajo con población infantil con diversidades sensoriales. En este sentido, las pruebas estuvieron orientadas a obtener una valoración cualitativa y cuantitativa sobre la experiencia general ofrecida por el sistema.

No obstante, algunas actividades quedaron fuera del alcance de esta validación. Entre ellas se encuentran la evaluación directa con niños pertenecientes a la población objetivo, la medición del impacto pedagógico del sistema, estudios longitudinales de uso, validaciones clínicas especializadas y análisis relacionados con procesos formales de aprendizaje. Estas limitaciones estuvieron asociadas principalmente a restricciones institucionales y al alcance académico del proyecto desarrollado.

Debido a que no fue posible realizar pruebas directas con menores durante el periodo de desarrollo, la validación se llevó a cabo mediante profesionales del instituto vinculados al trabajo permanente con población infantil con discapacidad visual y auditiva, quienes aportaron observaciones especializadas desde diferentes áreas de conocimiento relacionadas con accesibilidad, orientación, comunicación y desarrollo infantil.

5.3.2. Participantes de la evaluación

La evaluación del prototipo fue realizada con la participación de nueve profesionales pertenecientes al Instituto para Niños Ciegos y Sordos del Valle del Cauca, quienes cuentan con experiencia en el trabajo con población infantil con diversidades visuales y/o auditivas. La participación de estos profesionales permitió obtener observaciones especializadas relacionadas con accesibilidad, interacción, comprensión narrativa y adecuación de la experiencia desarrollada para la población objetivo del proyecto.

Los participantes pertenecían a diferentes áreas de formación y desempeño profesional, lo que favoreció la obtención de múltiples perspectivas durante el proceso de evaluación. La diversidad interdisciplinaria de los perfiles involucrados enriqueció el análisis del prototipo al permitir valorar aspectos asociados a comunicación, orientación espacial, movilidad, accesibilidad y experiencia de interacción dentro del entorno de realidad virtual.

Rol del participante	Cantidad
Coordinador de investigación e innovación del instituto	1
Fonoaudiólogas	4
Bióloga médica	1
Terapeuta ocupacional	1
Fisioterapeuta	1
Especialista en orientación y movilidad	1
Total	9

Cuadro 5.1: Roles y cantidad de participantes

5.3.3. Instrumento de evaluación

Para la evaluación del prototipo se diseñó un instrumento de recolección de información compuesto por preguntas cerradas y abiertas, orientadas a obtener datos cuantitativos y cualitativos sobre la experiencia general de uso del sistema. La aplicación de este instrumento permitió recopilar observaciones relacionadas con accesibilidad, interacción, comprensión narrativa y adecuación del entorno virtual para la población objetivo del proyecto.

Entre los nueve participantes, cuatro de ellos interactuaron directamente con el prototipo dentro del entorno de realidad virtual, todos los participantes observaron las cuatro diferentes experiencias y una proyección de la vista del jugador a un televisor, como se muestra en la Figura 5.1. Durante las sesiones, los profesionales realizaron un recorrido por las diferentes escenas implementadas en el sistema, explorando las mecánicas de interacción, la narrativa y los distintos recursos audiovisuales y de accesibilidad incorporados en la experiencia. Posteriormente, cada participante respondió el formulario de evaluación diseñado para el proyecto.



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

El instrumento incluyó una sección de afirmaciones valoradas mediante una escala tipo Likert de 1 a 5, donde 1 correspondía a “Totalmente en desacuerdo” y 5 a “Totalmente de acuerdo”. Estas preguntas estuvieron orientadas a evaluar aspectos relacionados con interacción, accesibilidad, claridad de instrucciones, navegación dentro del entorno virtual, comprensión narrativa y adecuación pedagógica del sistema.

Entre las dimensiones evaluadas se incluyeron la facilidad de interacción dentro del entorno virtual, la claridad de las instrucciones, la percepción visual y auditiva de la experiencia, la efectividad de los estímulos multisensoriales, la accesibilidad para niños con diversidades visuales y auditivas, la adecuación de las actividades para el rango de edad objetivo y el cumplimiento del propósito educativo planteado para el prototipo.

Adicionalmente, el instrumento incorporó preguntas abiertas orientadas a recopilar observaciones cualitativas sobre los aspectos más positivos del sistema, posibles mejoras y recomendaciones para futuras versiones del prototipo. Estas respuestas permitieron complementar los resultados cuantitativos obtenidos mediante la escala de evaluación y aportaron observaciones relevantes para el proceso de refinamiento del sistema.

Finalmente, el formulario incluyó una pregunta de valoración general del prototipo mediante una escala de 1 a 5, con el propósito de obtener una percepción global de la experiencia desarrollada desde la perspectiva de los profesionales participantes.

5.3.4. Resultados obtenidos

Se solicitó evaluar cada una de las siguientes afirmaciones según la experiencia con el prototipo, utilizando una escala del 1 al 5 (donde 1 es "Totalmente en desacuerdo" y 5 es "Totalmente de acuerdo")

Cuadro 5.2: Promedios de evaluación por pregunta

Pregunta	Promedio	Nivel
El niño puede interactuar con el entorno sin dificultad	4.63	Excelente
Las instrucciones son claras y fáciles de entender	4.25	Muy bueno
La navegación es intuitiva	4.25	Muy bueno
El contraste visual es adecuado	3.88	Bueno
El audio es claro y comprensible	4.50	Excelente
Los estímulos apoyan la experiencia	4.63	Excelente
Accesible para niños con discapacidad visual	4.38	Muy bueno
Accesible para niños con discapacidad auditiva	4.38	Muy bueno
Las actividades son adecuadas para la edad (5–12 años)	4.75	Excelente
La experiencia favorece la comprensión de la narrativa	4.75	Excelente
La experiencia contribuye al desarrollo del lenguaje	4.50	Excelente
El prototipo cumple con su propósito educativo	4.75	Excelente
Calificación general del prototipo	4.63	Excelente
Promedio general	4.48	Muy bueno

La calificación en general que los participantes le dieron al prototipo es como se muestra en la Figura 5.2.

Calificación general del prototipo

Promedio: 4.6 / 5

4 ★ (38%) 5 ★ (63%)

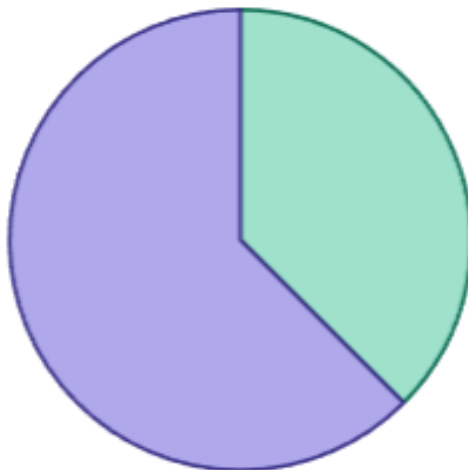


Figura 5.2: Calificación general del prototipo.

5.3.4.1. Aspectos positivos identificados por los profesionales

En relación con los aspectos más positivos del prototipo, los profesionales destacaron principalmente el nivel de interacción generado durante la experiencia, señalando que las dinámicas implementadas favorecen la atención y concentración de los niños a lo largo del recorrido narrativo. De acuerdo con sus observaciones, la participación activa dentro del entorno virtual contribuye a mantener el interés del usuario durante el desarrollo de las actividades propuestas.

Asimismo, se resaltó positivamente el diseño visual del entorno, incluyendo los escenarios, personajes y elementos gráficos presentes en la experiencia. Los participantes valoraron especialmente el diseño de los animales y paisajes, así como el uso de colores llamativos y elementos visuales que resultan atractivos para el público infantil.

Otro aspecto ampliamente valorado fue la adecuación del prototipo a las necesidades de niños entre 5 y 12 años. Los profesionales consideraron que el ritmo pausado de la narración, la claridad de las instrucciones y la incorporación de apoyos visuales y auditivos favorecen la comprensión de la experiencia y permiten procesar la información de forma gradual. En este sentido, se destacó positivamente la inclusión de subtítulos y recursos de apoyo para complementar la interacción.

Adicionalmente, se reconoció el potencial pedagógico y terapéutico del sistema, resaltando la

integración de objetivos relacionados con la comprensión narrativa, la participación guiada y la interacción dentro de un entorno inmersivo. La posibilidad de desplazarse por el espacio virtual y participar activamente en la historia fue considerada un elemento enriquecedor para la experiencia del usuario.

Finalmente, los profesionales coincidieron en que el prototipo constituye un complemento valioso para la comprensión del cuento original, al facilitar una aproximación más interactiva, multisensorial y participativa a la narrativa.

5.3.4.2. Aspectos a mejorar identificados por los profesionales

Respecto a los aspectos susceptibles de mejora, los profesionales coincidieron principalmente en la necesidad de revisar ciertos elementos de accesibilidad visual, especialmente los contrastes de color utilizados en la interfaz y los objetos interactivos, con énfasis en garantizar una experiencia adecuada para niños con baja visión.

De igual manera, se reiteró la necesidad de fortalecer la coherencia narrativa entre las actividades de juego y el desarrollo de la historia, particularmente en el minijuego del río, el cual fue percibido como una interrupción del flujo narrativo. En consecuencia, se sugirió rediseñar esta actividad para mantener mayor continuidad con el cuento.

Las instrucciones también fueron señaladas como un aspecto de mejora. Los participantes indicaron la conveniencia de hacerlas más claras, específicas y orientadas a la acción, incluyendo instrucciones que fomenten el movimiento corporal dentro de la experiencia de realidad virtual.

En relación con la dimensión auditiva, algunos profesionales recomendaron revisar la secuencia, transición y entonación de ciertos sonidos e instrucciones verbales, con el propósito de hacer más natural y comprensible la experiencia inmersiva. Además, se identificaron oportunidades de mejora en transiciones narrativas específicas, como el momento posterior al cruce del río.

En términos generales, los resultados sugieren que el prototipo fue percibido positivamente, aunque las recomendaciones obtenidas evidencian oportunidades de refinamiento orientadas principalmente a fortalecer la accesibilidad, la claridad de la interacción y la integración narrativa de las mecánicas implementadas.

5.3.5. Cambios realizados a partir de la evaluación profesional

Las observaciones obtenidas durante la evaluación con profesionales del Instituto para Niños Ciegos y Sordos del Valle del Cauca contribuyeron al refinamiento final del prototipo, permitiendo identificar oportunidades de mejora relacionadas con narrativa, accesibilidad, claridad visual e

interacción dentro del entorno de realidad virtual. Los comentarios y recomendaciones recopilados durante estas pruebas fueron analizados e incorporados progresivamente antes de consolidar la versión final del sistema.

En las primeras escenas del prototipo, específicamente durante la contextualización inicial de la historia, algunos profesionales recomendaron reforzar la retroalimentación positiva proporcionada al usuario después de responder correctamente preguntas relacionadas con la descripción de la mamá jaguar. Inicialmente, el sistema únicamente confirmaba la respuesta correcta y continuaba con la narrativa. Sin embargo, como parte del proceso de refinamiento, se incorporó una repetición adicional de las características de la mamá jaguar dentro de la retroalimentación auditiva, con el propósito de afianzar la comprensión de la información presentada al usuario y la identificación de las características de la mamá jaguar.

Uno de los cambios más significativos realizados a partir de la retroalimentación obtenida estuvo relacionado con la reorganización del minijuego de secuencia sonora implementado dentro de la experiencia. Inicialmente, esta actividad se encontraba ubicada en la mitad del recorrido narrativo como parte del reto que debía superar el joven jaguar para continuar su búsqueda. Sin embargo, durante la evaluación varios profesionales señalaron que la actividad interrumpía parcialmente la continuidad narrativa de la experiencia.

A partir de estas observaciones, se decidió trasladar el minijuego al cierre de la experiencia, después del reencuentro entre el joven jaguar y su madre. Esta modificación permitió reorganizar la progresión narrativa del videojuego y convertir el minijuego en una actividad final de refuerzo e interacción, favoreciendo una transición más fluida entre las escenas principales de la historia.

La evaluación también permitió identificar oportunidades de mejora relacionadas con el tutorial y la dinámica del minijuego de secuencia sonora. Como resultado de la retroalimentación recibida, se ajustó la explicación inicial del minijuego para hacer más comprensible la dinámica de interacción y facilitar el entendimiento de la actividad antes de iniciar la secuencia. Adicionalmente, se redujo la longitud de la secuencia inicial presentada al usuario, buscando disminuir la dificultad de la actividad y mejorar la accesibilidad de la experiencia para la población objetivo.

Cabe resaltar que la lógica de implementación del minijuego fue diseñada de manera flexible, permitiendo modificar tanto el orden como la longitud de las secuencias reproducidas. Esta estructura facilitó la realización de ajustes posteriores derivados de las pruebas y permitió adaptar progresivamente la dificultad de la actividad según las observaciones obtenidas durante el proceso de validación.

Además de estos ajustes, la evaluación profesional permitió identificar oportunidades de mejora relacionadas con la fidelidad respecto al cuento original y la claridad de determinadas dinámicas de interacción dentro de la experiencia. La Tabla 5.3 resume los principales cambios implementados a

partir de la retroalimentación obtenida durante la evaluación profesional.

Cuadro 5.3: Cambios implementados a partir de la evaluación profesional

Retroalimentación recibida	Cambio implementado
El minijuego interrumpía parcialmente la continuidad narrativa	El minijuego fue trasladado al cierre de la experiencia como actividad final de refuerzo
Se recomendó reforzar la retroalimentación sobre las características de la mamá jaguar	Se añadió una repetición adicional de la descripción dentro de la retroalimentación auditiva
La experiencia debía finalizar nuevamente en la cueva para mantener coherencia con el cuento original	Se incorporó una escena final de regreso a la cueva
El alimento presentado en la escena final no correspondía completamente al relato esperado	Se reemplazó la representación del alimento por carne para mantener coherencia narrativa
El tutorial del minijuego requería mayor claridad	Se ajustó la explicación inicial y los apoyos visuales del minijuego
La secuencia inicial del minijuego resultaba extensa	Se redujo la longitud de la secuencia para facilitar la interacción
Se requería mayor claridad visual en algunos elementos	Se ajustó el tamaño y contraste de elementos visuales e interfaces
Algunas instrucciones podían reforzarse visualmente	Se añadieron apoyos e indicadores visuales adicionales dentro de ciertas interacciones

En términos generales, las observaciones realizadas por los profesionales favorecieron el refinamiento progresivo del prototipo y contribuyeron a fortalecer aspectos relacionados con accesibilidad, organización narrativa, comprensión de actividades y experiencia de usuario dentro del entorno de realidad virtual.

5.4. Validación de requisitos

Cuadro 5.4: Validación de requisitos funcionales

RF	Criterio de éxito	Validación
RF-01	La adaptación interactiva del cuento es validada por al menos un profesional del Instituto para Niños Ciegos y Sordos del Valle del Cauca, quien confirma la coherencia de la narrativa y la incorporación de los personajes y eventos principales.	Los profesionales calificaron la comprensión de la narrativa a través de la experiencia con un promedio de 4,75.
RF-02	El usuario puede completar todas las escenas del prototipo siguiendo el orden narrativo establecido, avanzando únicamente después de realizar la interacción requerida en cada escena y sin presentar fallos técnicos.	Verificado mediante observación directa durante las pruebas funcionales con los profesionales del instituto.
RF-03	La narración, los sonidos ambientales y los efectos de sonido se reproducen correctamente y en sincronía con las acciones y eventos de la experiencia.	Verificado mediante observación directa durante las pruebas funcionales del prototipo.
RF-04	Los subtítulos descriptivos se visualizan de forma legible dentro del visor de realidad virtual y aparecen sincronizados con los diálogos y sonidos relevantes.	Verificado mediante observación directa y confirmación de los profesionales durante la validación del prototipo.
RF-05	Los profesionales del Instituto identifican correctamente los elementos interactivos del entorno virtual sin requerir apoyo adicional para distinguirlos visualmente.	Validado mediante observación directa y durante la interacción de los evaluadores con el entorno virtual. También, calificaron la intuitividad de la navegación con un promedio de 4,25.
RF-06	Cada mecánica de interacción presenta una instrucción contextual visual y/o auditiva durante su primer uso, permitiendo al usuario comprender la acción requerida para continuar.	Verificado mediante observación directa durante las pruebas funcionales, los profesionales calificaron la claridad de las instrucciones con un promedio de 4,25.

RF	Criterio de éxito	Validación
RF-07	Las interacciones configuradas dentro del entorno virtual responden correctamente durante las pruebas funcionales, permitiendo la activación y manipulación de los elementos definidos.	Verificado mediante observación directa, respondiendo correctamente.
RF-08	La retroalimentación háptica se activa correctamente durante los eventos de interacción definidos y es perceptible durante la ejecución de la experiencia.	Verificado mediante observación directa, los profesionales calificaron el apoyo de los estímulos con un promedio de 4,73.

Cuadro 5.5: Validación de requisitos no funcionales

RNF	Criterio de éxito	Validación
RNF-01	El prototipo se ejecuta correctamente en las gafas Meta Quest 3, manteniendo el funcionamiento de las interacciones, elementos visuales y elementos auditivos definidos para la experiencia.	Verificado mediante pruebas funcionales ejecutadas directamente en el dispositivo Meta Quest 3S, el prototipo se ejecuta autónomamente, sin necesidad de conectar a un computador..
RNF-02	El usuario puede recorrer y completar la experiencia narrativa manteniendo la orientación dentro del entorno virtual, sin presentar desorientación que impida continuar la interacción.	Los profesionales que probaron el prototipo lograron completar la experiencia. Sin embargo, señalaron desorientación en el flujo de la historia al momento de jugar el mini-juego.
RNF-03	Los profesionales del Instituto consideran que las instrucciones y preguntas presentadas en la experiencia pueden ser comprendidas por el rango de edad objetivo sin requerir explicaciones adicionales.	Los profesionales consideran que las actividades son adecuadas para el rango de edad objetivo.

Conclusiones y Trabajo Futuro

6.1. Conclusiones

En términos generales, el prototipo desarrollado obtuvo una validación favorable por parte de los profesionales participantes, quienes destacaron el nivel de fidelidad alcanzado respecto a la visión inicial de adaptación del cuento “¿Dónde está mi mamá jaguar?” a un entorno de realidad virtual. Particularmente, se valoró positivamente la incorporación progresiva de recomendaciones realizadas durante el proceso de desarrollo, lo que permitió ajustar aspectos narrativos, visuales y de interacción conforme a las necesidades identificadas por los especialistas del Instituto para Niños Ciegos y Sordos del Valle del Cauca.

Entre los aspectos mejor valorados se encuentran la utilidad del prototipo como apoyo para la comprensión de la narrativa, la integración contextual de tutoriales para el aprendizaje autónomo de los controles y el ritmo pausado de la narración, el cual favorece el procesamiento gradual de la información por parte del niño. Asimismo, los mecanismos multisensoriales implementados fueron percibidos como elementos que fortalecen la accesibilidad y la inmersión dentro de la experiencia.

A partir de las pruebas realizadas con profesionales y niños, se concluye que el prototipo cumple con los requisitos planteados al inicio del proyecto, evidenciando el cumplimiento del objetivo general de desarrollar un prototipo funcional de videojuego sensorial en realidad virtual inspirado en un cuento infantil e incorporando mecanismos de accesibilidad orientados a favorecer la inclusión educativa.

Del mismo modo, el enfoque iterativo e incremental inspirado en la metodología Scrum permitió incorporar ajustes continuos a lo largo del desarrollo, favoreciendo la validación progresiva de elementos narrativos, mecanismos de interacción y componentes de accesibilidad. La participación constante de profesionales del Instituto resultó especialmente relevante para garantizar la pertinencia pedagógica y la coherencia del diseño con las necesidades de la población objetivo.

6.2. Trabajo Futuro

Como principal limitación del presente trabajo, se identifica la ausencia de pruebas específicas con una muestra representativa de niños con diversidades visuales y/o auditivas. Aunque las

evaluaciones realizadas permitieron obtener observaciones relevantes relacionadas con usabilidad, comprensión narrativa e interacción general, futuras investigaciones deberán profundizar en la validación directa con la población objetivo. Esto permitirá analizar con mayor precisión aspectos como la comprensión de la narrativa, la facilidad de uso de las mecánicas implementadas, la percepción de los estímulos multisensoriales y los posibles ajustes requeridos en la interfaz y el entorno inmersivo para fortalecer la accesibilidad del sistema.

Asimismo, la retroalimentación proporcionada por los profesionales evidenció oportunidades de mejora en las mecánicas de interacción, particularmente en el minijuego de memoria implementado durante el cruce del río. Desde su experiencia, la inclusión de esta actividad genera cierto nivel de desorientación al interrumpir el flujo narrativo mediante una dinámica con escasa relación contextual respecto a los personajes y acontecimientos presentados previamente. En consecuencia, se propone el rediseño de esta mecánica, buscando una integración más natural dentro de la historia. Entre las posibles mejoras se contempla la incorporación de elementos visuales asociados a los personajes del cuento, de manera que los objetos del minijuego mantengan coherencia con la narrativa y refuerzan la continuidad de la experiencia.

De forma complementaria, se plantea un replanteamiento de la mecánica de interacción del minijuego, incorporando gestos de movimiento corporal que favorezcan una experiencia más inmersiva y alineada con las capacidades del entorno de realidad virtual. Además, siguiendo las recomendaciones de los profesionales participantes, se sugiere estructurar el minijuego en diferentes niveles de dificultad ajustables según el rango de edad o nivel de desarrollo del niño, permitiendo una experiencia más adaptable a las características de cada usuario.

Finalmente, se recomienda realizar una revisión más exhaustiva de los contrastes de color y de la percepción visual de las interfaces presentes en el prototipo, con el propósito de garantizar una identificación clara de los elementos interactivos y mejorar la accesibilidad visual dentro del entorno inmersivo.

Bibliografía

- [1] W. H. Organization and W. Bank, “World report on disability 2011,” p. Summary also available in Braille, 2011.
- [2] C. P. Dussan. “Los ciegos en el censo 2018: Instituto nacional para ciegos”. [Inci]. Disponible en: <https://www.inci.gov.co/blog/los-ciegos-en-el-censo-2018> (Accedido Aug., 24, 2025).
- [3] Z. A. Peña. “Un total de 350 personas con discapacidad visual recibieron su bastón para poder movilizarse”. [cali]. 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 Aug., 24, 2025).
- [4] ——. “30 de septiembre, día internacional de la persona sorda”. [cali]. Disponible en: <https://www.cali.gov.co/bienestar/publicaciones/156451/30-de-septiembre-dia-internacional-de-la-persona-sorda/> (Accedido Aug., 24, 2025).
- [5] DANE. “Estado actual de la medición de la discapacidad en colombia”. [dane]. Disponible en: https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/notas-estadisticas/abr_2022_nota_estadistica_Estado%20actual_de_la_medicion_de_discapacidad_en%20Colombia-presentacion.pdf (Accedido Aug., 24, 2025).
- [6] M. de Ambiente y Desarrollo Sostenible. “Las 10 especies silvestres emblemáticas más amenazadas en colombia”. [minambiente]. Disponible en: <https://www.minambiente.gov.co/las-10-especies-silvestres-emblematicas-mas-amenazadas-en-colombia/#:~:text=marzo%203%2C%202023-,Las%2010%20especies%20silvestres%20emblem%C3%A1ticas%20m%C3%A1s%20amenazadas%20en%20Colombia,de%20la%20Naturaleza%20%28UICN%29.> (Accedido Aug., 24, 2025).
- [7] L. C. G. sobre Discapacidad. “Informe global inclusión y discapacidad 2025”. [asdown]. Disponible en: <https://asdown.org/informe-global-inclusion-y-discapacidad-2025/> (Accedido Aug., 24, 2025).
- [8] G. Restrepo, L. L. Serrano, F. Rodríguez, J. C. Martínez, A. A. Navarro-Newball, E. Asprilla, A. D. Castillo, A. Y. Portilla, and E. Peñaloza, *Chapter 10. XR Narratives for Sensorially Diverse Children*. Open Press TiU, nov 4 2022, <https://openpresstiu.pubpub.org/pub/ivm7gmqv>.
- [9] Y. Yang, “Technical challenges affecting the popularization of virtual reality technology,” in *Proceedings of the 2024 International Conference on Mechanics, Electronics Engineering and Automation (ICMEEA 2024)*. Atlantis Press, 2024, pp. 261–272. [Online]. Available: https://doi.org/10.2991/978-94-6463-518-8_26

- [10] N. Droutsas, F. Spyridonis, D. Daylamani-Zad, and G. Ghinea, “Web accessibility barriers and their cross-disability impact in esystems: A scoping review,” *Computer Standards Interfaces*, vol. 92, p. 103923, 2025. [Online]. Available: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0920548924000928>
- [11] V. H. Garcia Rivera and N. Y. Céspedes Guevara, “Realidad virtual inmersiva para la educación,” *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, vol. 9, no. 3, pp. 5760–5784, jul. 2025. [Online]. Available: <https://ciencialatina.org/index.php/cienciala/article/view/18214>
- [12] M. de educación. “educación inclusiva”. [mineducacion]. Disponible en: <https://www.mineducacion.gov.co/portal/micrositios-preescolar-basica-y-media/Direccion-de-Calidad/Gestion-Institucional/374740:Educacion-inclusiva> (Accedido Aug., 24, 2025).
- [13] M. C. Green and K. M. Jenkins, “Interactive narratives: Processes and outcomes in user-directed stories,” *Journal of Communication*, vol. 64, no. 3, pp. 479–500, 05 2014. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1111/jcom.12093>
- [14] K. J. Castañeda Balón, A. S. Cueva Rey, S. I. Briones Hernández, and K. E. Monard Proaño, “Gamificación y motivación en contextos educativos. un enfoque desde la psicología educativa. una revisión sistemática,” *RECIMUNDO*, vol. 9, no. 2, p. 660–674, jul. 2025. [Online]. Available: <https://www.recimundo.com/~recimund/index.php/es/article/view/2680>
- [15] World Health Organization, “World report on disability,” Geneva, Switzerland, 2011. [Online]. Available: <https://www.who.int/publications/i/item/9789241564182>
- [16] V. Heyl and M. Hintermair, “Executive function and behavioral problems in students with visual impairments at mainstream and special schools,” *Journal of Visual Impairment & Blindness*, vol. 109, no. 4, pp. 251–263, Jul. 2015.
- [17] A. A. Navarro-Newball, M. V. A. S. Galvis, A. Portilla, L. L. Serrano, F. A. Rodríguez, E. Peñaloza, J. C. Martínez, J. J. Betancourt, K. Ramirez, A. Velasquez, V. Quinto, A. D. Restrepo, Gerardo y Castillo, and E. Asprilla, “Building Augmented and Virtual Reality Experiences for Children with Visual Diversity,” in *Computer Graphics and Visual Computing (CGVC)*, P. Vangorp and M. J. Turner, Eds. The Eurographics Association, 2022.
- [18] K. Hongngam, C. Yanuchit, N. Meeusah, V. Skunhom, and J. Jisubha, “Universal design for learning: Storytelling application to promote learning for children with deaf,” in *2024 9th International STEM Education Conference (iSTEM-Ed)*, 2024, pp. 1–6.
- [19] G. Restrepo, E. C. Prakash, S. E. Dashti, A. D. Castillo S., J. Gómez, L. Oviedo, J. Floyd, J. Aycardi, J. Trejos, J. González, M. V. Sierra, and A. A. Navarro-Newball, “Extended realities for sensorially diverse children,” *IEEE Computer Graphics and Applications*, vol. 44, no. 4, pp. 26–39, 2024.

-
- [20] D. Allison and L. F. Hodges, “Virtual reality for education?” in *Proceedings of the ACM Symposium on Virtual Reality Software and Technology*, ser. VRST '00. New York, NY, USA: Association for Computing Machinery, 2000, p. 160–165. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1145/502390.502420>

Registro de iteraciones del desarrollo

En este anexo se presenta el historial de iteraciones desarrolladas durante la ejecución del proyecto, incluyendo las actividades realizadas, los avances obtenidos y los ajustes implementados en cada ciclo de trabajo.

La documentación completa de las iteraciones puede consultarse en el siguiente enlace:

[Consultar historial de iteraciones](#)

Descripción detallada de escenas del prototipo

En este anexo se presenta la descripción detallada de las escenas que conforman la experiencia narrativa e interactiva del prototipo de realidad virtual.

[Consultar historial de iteraciones](#)

Storyboard del prototipo

En este anexo se presenta el storyboard utilizado para la planificación visual y narrativa de la experiencia interactiva del prototipo.

El storyboard completo puede consultarse en el siguiente enlace:

[Consultar storyboard del prototipo](#)

Diálogos y narrativa interactiva del prototipo

En este anexo se presentan los diálogos y secuencias narrativas adaptadas del cuento *¿Dónde está mi mamá jaguar?* para la implementación de la experiencia interactiva en realidad virtual.

Los diálogos completos pueden consultarse en el siguiente enlace:

[Consultar diálogos y narrativa interactiva](#)

Diagrama de flujo principal del videojuego

Debido a que este diagrama contiene la totalidad de la lógica de interacción del sistema y presenta una estructura extensa y detallada, su inclusión en el cuerpo del documento no resulta adecuada por limitaciones de espacio y legibilidad.

El diagrama completo puede consultarse en el siguiente enlace:

[Consultar diagrama de flujo principal del videojuego](#)