



Acta de Correcciones al Proyecto de Grado Ingeniería de Sistemas y Computación

Fecha:

20 de febrero, 2024.

Autores:

Jean Paul Gonzalez Pedraza
Joan Estibens Trejos Marulanda

Nombre del Proyecto de Grado:

Sistema Olfativo Integrado a Ambiente de Realidad Virtual Aplicado al Hábitat del Mono Tití

Director:

Dr. Andrés Adolfo Navarro Newball

Como indica el artículo 2.27 de las Directrices de Trabajo de Grado, he verificado que los estudiantes indicados arriba han implementado todas las correcciones que los Jurados del Proyecto de Grado definieron que se efectuaran, como consta en el Acta de Calificación correspondiente.



Firma de Director(a) del Proyecto de Grado

Nota de Aceptación

Aprobado por el Comité de Trabajo de Grado en cumplimiento de los requisitos exigidos por la Pontificia Universidad Javeriana para optar el título de Ingeniero de Sistemas y Computación.



Dr. Hernán Camilo Rocha Niño
Decano de la Facultad de Ingeniería



Dr. Gerardo Mauricio Sarria Montemiranda
Director Carrera Ingeniería Sistemas y Computación.



Dr. Andrés Adolfo Navarro Newball
Director(a) de Trabajo



Dra. Luisa Fernanda Rincón Pérez
Jurado 1



Ing. Luis Gonzalo Noreña Agudelo
Jurado 2

Pontificia Universidad Javeriana Cali
Facultad de Ingeniería
Ingeniería de Sistemas y Computación
Trabajo de Grado

Sistema Olfativo Integrado a Ambiente de Realidad Virtual Aplicado al Hábitat del Mono Tití

Jean Paul Gonzalez Pedraza
Joan Estibens Trejos Marulanda

Director: Dr. Andres Adolfo Navarro Newball

Enero 2024



Santiago de Cali, Enero 2024.

Señores

Pontificia Universidad Javeriana Cali.

Dr. Gerardo Mauricio Sarria Montemiranda

Director Carrera de Ingeniería de Sistemas y Computación.

Cali.

Cordial Saludo.

Por medio de la presente me permito informarle que los estudiantes de Ingeniería de Sistemas y Computación Jean Paul Gonzalez Pedraza (cod: 8954011) y Joan Estibens Trejos Marulanda(cod: 8935991) trabajaron bajo mi dirección en el proyecto de grado titulado “Sistema Olfativo Integrado a Ambiente de Realidad Virtual Aplicado al Hábitat del Mono Tití”, el cual se encuentra listo para ser entregado.

Atentamente,



Dr. Andres Adolfo Navarro Newball

Santiago de Cali, Enero 2024.

Señores

Pontificia Universidad Javeriana Cali.

Dr. Gerardo Mauricio Sarria Montemiranda

Director Carrera de Ingeniería de Sistemas y Computación.

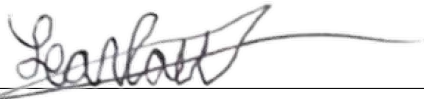
Cali.

Cordial Saludo.

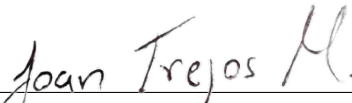
Nos permitimos presentar a su consideración el trabajo de grado titulado “Sistema Olfativo Integrado a Ambiente de Realidad Virtual Aplicado al Hábitat del Mono Tití” con el fin de cumplir con los requisitos exigidos por la Universidad para optar al título de Ingeniero de Sistemas y Computación.

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

Atentamente,



Jean Paul Gonzalez Pedraza
Código: 8954011



Joan Estibens Trejos Marulanda
Código: 8935991

Agradecimientos

Joan Estibens Trejos Marulanda:

Quiero agradecer primero a Dios, por darme la oportunidad de llegar hasta este momento crucial de mi vida y de la carrera a pesar de las pruebas y dificultades en el camino. A mis padres, David y Luz Dary por brindarme todo su amor, apoyo incondicional, consejos y por su paciencia en tales momentos y en todo mi recorrido académico. A nuestro director de proyecto el Dr. Andrés Navarro por darme la oportunidad de trabajar con él y llevar a cabo este proyecto que inspiró mi futura visión profesional, así como su guía, conocimiento y paciencia para lograr culminarlo de la mejor manera posible. A mi compañero y amigo Jean Paul, que sin su compromiso y ánimo no hubiese sido posible completarlo. Y no menos importante, agradezco a cada uno de mis familiares, amigos y compañeros que aportaron en gran manera a impulsarme para llegar hasta aquí. Finalmente y en especial, a mi mamá Emma, que fue un pilar muy importante en mi niñez y juventud, quien me formó, me enseñó y me motivó de la mejor manera para lograr alcanzar mis metas.

Jean Paul Gonzalez Pedraza:

Quiero expresar mis agradecimientos, en primer lugar, a mis padres que me han brindado todo su apoyo incondicional y comprensión durante este proceso. Quiero agradecerle a nuestro director de proyecto el Dr. Andrés Navarro quien siempre nos brindó su buena disposición y apoyo, guiándonos de la mejor manera durante dicho proyecto. A mi compañero de trabajo Joan Trejos por su buena disposición y compromiso en todo momento durante el desarrollo de este proyecto. Finalmente, agradezco a todos aquellos amigos y seres queridos que brindaron palabras de aliento y comprensión en momentos cruciales durante este proceso. Este trabajo no habría sido posible sin la contribución de cada una de estas personas, y estoy sinceramente agradecido por su valioso respaldo.

Resumen

La tecnología de realidad virtual ha tenido un profundo impacto en diversos ámbitos, tanto educativos como de entretenimiento e investigativos. Sin embargo, esta tecnología no ha explorado ni implementado plenamente el componente sensorial del olfato, siendo el visual y auditivo los más desarrollados en la actualidad. El proyecto se centró en la creación de un entorno de realidad virtual acerca del hábitat del mono tití, implementando un sistema olfativo destinado a mejorar la experiencia educativa de niños que padecen discapacidades visuales o auditivas. En colaboración con el Instituto para Niños Ciegos y Sordos, esta iniciativa tiene como objetivo proporcionar a estos niños una herramienta que les permita acceder a un mundo virtual con experiencias olfativas. Los resultados preliminares son prometedores.

Palabras Clave: Realidad virtual, Discapacidades, Mundo virtual, Sistema olfativo.

Abstract

Virtual reality technology has had a profound impact in various fields, encompassing educational, entertainment, and research domains. However, this technology has not fully explored or implemented the olfactory sensory component, with visual and auditory elements currently being the most developed. The project focused on creating a virtual reality environment centered around the habitat of the cotton-head tamarin, incorporating an olfactory system designed to enhance the educational experience for children with visual or auditory impairments. In collaboration with the Institute for Blind and Deaf Children, our initiative aims to provide these children with a tool that allows them to access a virtual world with olfactory experiences. Preliminary results are promising.

Keywords: Virtual reality, disabilities, Virtual world, Olfactory system.

Índice general

1. Descripción del Problema	14
1.1. Planteamiento del Problema	14
1.1.1. Formulación	15
1.1.2. Sistematización	15
1.2. Objetivos	15
1.2.1. Objetivo General	15
1.2.2. Objetivos Específicos	15
1.3. Justificación	16
1.4. Delimitaciones y Alcances	16
1.5. Entregables	16
2. Marco de Referencia	17
2.1. Marco de Referencia	17
2.1.1. Marco Teórico	17
2.1.2. Trabajos Relacionados	18
2.1.3. Conclusiones generales acerca de los trabajos relacionados:	22
3. Metodología	24
3.1. Actividades	24
3.1.1. Objetivo 1: Estudiar el sistema olfativo y las esencias que contiene de modo que se pueda identificar cuales se adaptarían mejor al ambiente virtual que se busca recrear	24
3.1.2. Objetivo 2: Analizar y proponer las características del módulo que permitirán evaluar y verificar el correcto funcionamiento	24
3.1.3. Objetivo 3: Diseñar y adaptar el módulo determinado al entorno virtual de modo que este trabaje en conjunto con el dispositivo o sistema olfativo determinado.	25
3.1.4. Objetivo 4: Evaluar y analizar los resultados respecto a la experiencia inmersiva del usuario final	25
3.2. Metodología ágil	25
3.2.1. Metodología SCRUM	25
3.2.2. Metodología SCRUM aplicado al proyecto	27
4. Análisis	30
4.1. Listado de requerimientos	30
4.1.1. Requerimientos Funcionales	30
4.1.2. Requerimientos No Funcionales	32

4.2. Diagrama de casos de uso	32
5. Diseño	35
5.1. Diseño de la arquitectura del sistema	35
5.2. Diagrama de clases	37
5.3. Diagrama de flujo	38
5.4. Diseño de los personajes no jugables(NPCS)	40
5.4.1. Maquina de estados de los personajes no jugables(NPCS)	41
6. Implementación	42
6.1. Dispositivos de desarrollo	42
6.2. Software para el desarrollo	43
6.2.1. Unity	43
7. Validación, Pruebas y Resultados	58
7.1. Validación de requerimientos	58
7.1.1. Requerimientos funcionales	58
7.1.2. Requerimientos no funcionales	61
7.2. Pruebas	62
7.3. Resultados	63
7.3.1. Análisis de los resultados y de la experiencia	64
7.3.2. Retroalimentación dada por el instituto para niños ciegos y sordos del Valle del Cauca	64
8. Conclusiones y Trabajo Futuro	67
8.1. Conclusiones	67
8.2. Trabajo futuro	68
Bibliografía	69

Introducción

La realidad virtual ha venido tomando fuerza a través de los años como una alternativa de entretenimiento y educación que se vale de hacer que su usuario se sienta inmerso en el ambiente que se simula, esto con el fin de crear una experiencia convincente. Para este fin, se ha hecho uso de estímulos visuales y auditivos, es decir, se aprovechan los sentidos de la vista y del oído para generar la experiencia virtual. Gracias a esto, se han logrado simulaciones cuyo grado de inmersión y similitud con el ambiente o escenario que se busca generar logra, en ocasiones, hacer que quienes lo experimentan olviden por un momento que se encuentran en un ambiente artificial.

Sin embargo, el considerar solamente el sentido de la vista y el oído, se excluye a aquellas personas con discapacidad visual, auditiva, o de ambas índoles. Con esto, se tiene un porcentaje considerable de la población que no tiene acceso a estas herramientas, por lo que limita las posibilidades de desarrollo personal y educativo de estos individuos. Esto, llevado al contexto colombiano, deja a una población de por sí vulnerable a causa del ya deficiente sistema educativo, incluso más vulnerable.

Teniendo esto en mente, se han generado diversos esfuerzos para desarrollar herramientas educativas inclusivas dirigidas a niños con discapacidad visual y auditiva. Mas específicamente, el trabajo realizado dentro del marco del “Proyecto colaborativo Colombia-Québec Narrativa, realidad virtual y deficiencias sensoriales”, dejó como resultado diversas herramientas táctiles y visuales para la educación de los niños con dichas discapacidades pertenecientes al Instituto para Niños Ciegos y Sordos. Entre ellos, se creó un ambiente virtual que simula el hábitat del mono tití.

El presente proyecto busca acoplar un sistema olfativo a un entorno virtual existente que emula el hábitat del mono tití, con el objetivo de mejorar dicha herramienta al ayudar a generar mayor verosimilitud con el entorno real simulado, con el fin de educar sobre el mono tití, su situación de peligro y la importancia de su conservación. Se busca explorar otras alternativas dentro de la realidad virtual, con el objetivo de enriquecer las experiencias virtuales ya establecidas al introducir un estímulo adicional. Con esto, se espera apoyar la labor educativa dirigida a los niños pertenecientes al Instituto para Niños Ciegos y Sordos, de la ciudad de Cali.

Descripción del Problema

1.1. Planteamiento del Problema

La aparición de tecnologías para simulación de entornos virtuales significó un cambio contundente, abriendo nuevas posibilidades dentro del mundo de la tecnología, aportando a campos tanto académicos como de entretenimiento. Podríamos definir este conjunto de tecnologías, la realidad virtual, como “una base de datos interactivos capaz de crear una simulación que implique a todos los sentidos, generada por un ordenador, explorable, visualizable y manipulable en ‘tiempo real’ bajo la forma de imágenes y sonidos digitales, dando la sensación de presencia en el entorno informático” [Levis, 2006][1]. En otras palabras, un entorno digital computarizado que emula y simula un entorno real, enfocándose en la percepción sensorial para darle un alto grado de inmersión, similitud o realismo.

Sin embargo, en las últimas dos décadas, la evolución e investigaciones de la realidad virtual han tenido un mayor foco en dos estímulos sensoriales principales, el visual y auditivo. Los avances dirigidos a dichos estímulos se han desarrollado de manera exponencial, tanto así que ha habido grandes aportes a diversas comunidades, entre estas, comunidades científicas, médicas, académicas y de entretenimiento.

Por ejemplo, en el campo del entretenimiento encontramos diversidad de videojuegos desarrollados con sistemas de realidad virtual, como lo es Falcon Age, donde la persona tiene la oportunidad de ser el personaje de la historia, acompañado de un halcón, quién le ayuda en su viaje a través de distintos entornos y paisajes virtuales, pudiendo interactuar a su vez con ellos; cuyo atractivo, principalmente, es la exploración visual y auditiva. No obstante, se debe tener en cuenta que no todas las personas están en la capacidad de utilizar esta tecnología, específicamente, aquellas que cuentan con limitaciones en la recepción de estos dos estímulos; entendiéndose entonces que la realidad virtual ha considerado escasamente, durante su historia y desarrollo, a las personas con discapacidad visual y/o auditiva. El último reporte del 2020 relacionado a la población con discapacidad auditiva, según la OMS (Organización Mundial de la Salud), indica que 466 millones de personas en el mundo sufren de esta condición, siendo más del 5% de la población mundial, de los cuales 500 mil personas son colombianas, es decir, aproximadamente un 1% de su población [2]. Así mismo, relacionado a las personas con discapacidad visual, según la INCI (Instituto Nacional para Ciegos) de Colombia, en su rendición de cuentas del año 2021 reportó que 1.948.332 personas son ciegas o tienen visión reducida. [3]

Teniendo en cuenta lo anterior, se busca entonces poder generar una mayor inclusión para estas personas y que puedan tener un mayor acercamiento a la realidad virtual, no solo a nivel de entretenimiento sino también a un nivel educativo. De esta manera, se busca llegar a ser un soporte para su formación, dada su condición; esto haciendo uso de los demás estímulos sensoriales, como lo es por ejemplo el sentido del olfato, el cual es el punto clave de este proyecto, y cómo implementarlo en un ambiente virtual educativo de manera inclusiva, que le permita al usuario vivir una experiencia más cercana al ambiente real que se busca simular.

1.1.1. Formulación

¿Cómo integrar un sistema de olores a un sistema de realidad virtual que mejore la simulación del hábitat del mono tití permitiendo a personas, y especialmente a niños, con discapacidad visual y auditiva tener una mayor experiencia e inmersión?

1.1.2. Sistematización

- ¿Qué olores contenidos por el sistema olfativo nos permiten simular o recrear los olores similares al ambiente que se busca recrear?
- ¿Qué características debe tener el módulo que se requiere crear para la integración, de manera que este funcione correctamente?
- ¿Cómo diseñar y adaptar el módulo al entorno virtual para que este pueda trabajar en conjunto con el sistema olfativo determinado?
- ¿Cómo evaluar el impacto del sistema de olores en la experiencia inmersiva del usuario final?

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo General

Integrar un sistema olfativo a un entorno de realidad virtual ambientado en el hábitat del mono tití, mediante el desarrollo de un módulo que amplíe y provea una mejora en la inmersión experimentada por personas con limitaciones visuales y auditivas dentro de dicho entorno.

1.2.2. Objetivos Específicos

1. Estudiar el sistema olfativo y las esencias que contiene de modo que se pueda identificar cuales se adaptarían mejor al ambiente virtual que se busca recrear.
2. Analizar y proponer las características del módulo que permitirán evaluar y verificar el correcto funcionamiento.
3. Diseñar y adaptar el módulo determinado al entorno virtual de modo que este trabaje en conjunto con el dispositivo o sistema olfativo determinado.

4. Evaluar y analizar los resultados respecto a la experiencia inmersiva del usuario final.

1.3. Justificación

Dado que el proyecto busca ampliar e integrar el sentido del olfato como uno de los estímulos sensoriales importantes aplicado a la realidad virtual, esto va a permitir una mayor y vívida inmersión en los ambientes virtuales, tanto para aquellas personas que gozan de una completitud sensorial, es decir, aquellos que en la actualidad disfrutan de la experiencia mediante lo visual y auditivo que presentan los entornos virtuales, como aquellas que cuentan con limitaciones o discapacidades visuales y auditivas, permitiendo así el acceso a todas las personas posibles sin importar su condición. Lo anterior enfocándose no solo en el entretenimiento que esta tecnología de realidad virtual brinda, sino que también abarcando la posibilidad de utilizarse como un apoyo y recurso para tratamientos médicos y rehabilitaciones relacionadas a dichos tipos de discapacidades sensoriales, especialmente para aquellos que se encuentran en una etapa temprana de su vida, es decir, este proyecto procura traer pues un avance y beneficio en pro de todos aquellos niños que no pueden gozar de una vista y audición parcial o completa .

Teniendo este proyecto como población objetivo principal a aquellos pertenecientes al **Instituto de Niños Ciegos y Sordos**, se busca dar entonces dicho aporte necesario para mejorar sus experiencias y metodologías en entretenimiento, enseñanza, rehabilitación y tratamientos posibles.

1.4. Delimitaciones y Alcances

1. El sistema olfativo utilizará al menos tres olores que permitan recrear una completa o cercana inmersión a lo que se experimentaría en el ambiente real.
2. El sistema olfativo se integrará mediante el módulo únicamente a un entorno virtual existente de acuerdo con las características específicas del mismo.
3. El entorno virtual actual estará sujeto a algunos refinamientos necesarios para incorporar el módulo de olores.
4. Se utilizará un sistema o dispositivo de olores comercial existente.

1.5. Entregables

- Un módulo que logre conectar correctamente la interfaz olfativa con el entorno virtual y que transmita las esencias y olores cercanos a la experiencia que se busca simular.
- Lista y análisis de resultados luego de probar el sistema completo con el usuario final
- Documento final de trabajo de grado

Marco de Referencia

2.1. Marco de Referencia

2.1.1. Marco Teórico

Experimentar una sensación de presencia en un mundo virtual, se logra gracias a la simulación de los sentidos, predominando principalmente la estimulación visual y auditiva, sin embargo, sentidos, como el olfato, pueden ser importante al momento de mejorar dicha sensación de presencia e inmersión. En el marco de este proyecto se buscó integrar el estímulo del olfato para lograr un aporte a la experiencia vivida en un ambiente virtual. En el caso específico de este proyecto, se busca mejorar la simulación del ambiente que simula el hábitat del mono tití, teniendo como público niños con discapacidades visuales y auditivas. Teniendo en cuenta lo anterior es necesario definir algunos conceptos claves dentro de este proyecto. Entre los cuales se encuentran: realidad virtual, interfaz olfativa, interfaz humano-computador, discapacidad, deficiencia visual, sordera y pérdida de la audición, mono tití.

2.1.1.1. Realidad Virtual

Definición: Conjunto de tecnologías capaces de aportar y aplicar a una simulación, generada por un ordenador, todos los sentidos de modo que esta sea explorable, visualizable y manipulable en tiempo real, dando así la sensación de presencia o inmersión en el entorno virtual. [1]

2.1.1.2. Interacción Humano-Computador(IHC)

Definición: Área transversal entre la ingeniería, psicología, ergonomía y diseño, que investiga la forma en que los seres humanos utilizan e interactúan con los dispositivos tecnológicos [7]

2.1.1.3. Interfaz Olfativa

Definición: Interfaz basada en el sentido del olfato del usuario. Definida a menudo como aquellas interfaces que son capaces de sintetizar olores de emisión para reemplazar o admitir otros tipos de interfaces sensoriales tales como las visuales, táctiles o de audio.[8]

2.1.1.4. Discapacidad

Definición: Significa una deficiencia física, mental o sensorial, ya sea de naturaleza permanente o temporal, que limita la capacidad de ejercer una o más actividades esenciales de la vida diaria,

que puede ser causada o agravada por el entorno económico y social[9].

2.1.1.5. Deficiencia Visual o Ceguera

Definición: Condición caracterizada por la limitación total o parcial de la vista, medida por diferentes parámetros. La pérdida grave de la visión puede conllevar a limitaciones muy severas como realizar de manera autónoma su desplazamiento, sus actividades rutinarias y acceso a la información y educación. [10]

2.1.1.6. Sordera y Pérdida de Audición

Definición: Se considera que alguien sufre de pérdida de la audición, llamado también hipoacusia, cuando su umbral de audición es menor que 20dB. Esta puede afectar tanto uno como ambos oídos, impidiendo la capacidad de comunicación con otros y provocando un desarrollo tardío del lenguaje en los niños, entre otras consecuencias. [11]

2.1.1.7. Mono Tití [12]

Los monos tití se caracterizan por tener el tamaño aproximado de una ardilla, un pelaje negro-marrón en sus espaldas y colas, así como también un pelaje blanco en su pecho y vientre. Este pequeño primate es endémico de los bosques del noreste de Colombia. Su principal dieta son los insectos y frutas.

Estos primates juegan un rol importante en la difusión de semillas en los ecosistemas tropicales. Sin embargo, se encuentran en peligro crítico, siendo la deforestación y la actividad humana las amenazas principales para su existencia. Dentro de estas actividades encontramos la extracción de petróleo, el desarrollo y la agricultura, así como también la utilización de los monos tití para investigaciones biomédicas. Se estima que, del rango geográfico original, solo queda un 5%. A medida que su hábitat es reducido por las amenazas mencionadas, también se ven reducidas las esperanzas de supervivencia de los monos tití.

2.1.2. Trabajos Relacionados

2.1.2.1. Olfactory display: development and application in virtual reality therapy [4]

Este trabajo trata sobre cómo el uso de interfaces olfativas puede mejorar el sentido de presencia e inmersión dentro de la realidad virtual, teniendo también un aporte en algunas terapias cognitivas como lo es el trastorno de estrés post-traumático. A su vez describe los diferentes tipos de interfaces olfativas y sus respectivas ventajas y desventajas.

Tecnología utilizada: El proyecto hace uso de tecnologías como la tecnología de seguimiento facial basada en visión por computadora para detectar la posición de la nariz del usuario. También se utiliza un sistema el cual detecta la posición del usuario y obtiene los datos a través de un lector

de etiquetas por identificación, a través de radiofrecuencia. Además, se utiliza un sistema que puede detectar el patrón de respiración de los usuarios. Estas tecnologías trabajan en conjunto para controlar la emisión de los olores de manera precisa y eficiente.

En el documento se mencionan varias limitaciones entre las que se destacan que los dispositivos de visualización olfativa son limitados en comparación con la tecnología avanzada de visualización y audio en la realidad virtual. Otra, es que los dispositivos de visualización olfativa son costosos y tienen una efectividad limitada, también se menciona que la creación de olores es un desafío puesto que la mayoría de los olores creados contienen un porcentaje bajo del elemento real. Estas afectan la disponibilidad y efectividad de la visualización olfativa en la terapia de realidad virtual.

Este artículo se relaciona con este proyecto en que las tecnologías utilizadas funcionaran en conjunto, es decir la realidad virtual con el sistema de olores para ofrecerle una experiencia agradable e inmersiva a los usuarios puesto que los olores estarán pensados para simular de manera cercana a los olores en la vida real.

2.1.2.2. Demonstration of Olfactory Display Based on Sniffing Action [5]

El artículo presenta un dispositivo olfatorio portable, el cual se encuentra adherido al casco de realidad virtual. El objetivo de este dispositivo es brindarle una mayor experiencia al jugador al momento de percibir olores. En el ambiente creado para dicho fin le permite al jugador recolectar diferentes esencias de cocteles y poder mezclarlas y olerlas en cierto punto específico, creando así un “coctel” de olores.

Diseño y tecnología utilizada: El dispositivo utiliza una combinación de un atomizador con onda acústica superficial que tiene válvulas de micro dispensación para liberar olores solo cuando el usuario huele. Además, el dispositivo recibe comandos de una aplicación realidad virtual que controla los parámetros de funcionamiento del dispositivo. La limitación más importante a resaltar del documento, es el control de la cantidad de olor entregado al usuario, ya que es necesario proporcionar una cantidad cómoda de olor sin causar molestias.

Se relaciona con este proyecto pues se encuentra que ambos sistemas buscan mejorar la experiencia de realidad virtual implementando un dispositivo de olores que se activen conforme se va interactuando con el entorno. Así como también que se tiene la oportunidad de poder mezclar esencias para generar un mayor sentido de realismo en el ambiente virtual a como se esperaría en el entorno real. Una diferencia entre el presente proyecto y el mencionado en el artículo, es que el dispositivo olfativo no es portable, por ende, puede causar una experiencia inmersiva limitada.

2.1.2.3. Virtual Reality for training - The impact of smell on presence, cybersickness, fatigue, stress and knowledge transfer [6]

Este proyecto propone, experimenta y analiza la influencia que se logra al adicionar un estímulo como lo es el olfato en entornos de realidad virtual enfocados al entrenamiento de bomberos, en este caso el olor utilizado fue "madera quemada". Para este entrenamiento participaron 24 personas, solo a la mitad se le aplicó el entrenamiento con la ayuda olfativa y la otra mitad sin él. Se utilizaron cuestionarios y pruebas para recopilar datos sobre la experiencia de los participantes.

Tecnología utilizada: En el proyecto se utilizó una combinación de tecnologías para aplicar el estudio, incluyendo los cascos de realidad virtual HTC Vive, auriculares con tecnología de cancelación de ruido acústico para el audio, y el sistema de seguimiento OptiTrack Motion el cual cuenta con 12 cámaras de seguimiento para rastrear los pies y las manos de los participantes.

Resultados y conclusiones: Los resultados obtenidos del estudio indicó que el olor no hizo una gran diferencia en el entrenamiento, es decir no influyo en la presencia, cinetosis, fatiga, estrés o transferencia de conocimientos. De acuerdo con el artículo, las razones posibles por la cuales el experimento no fue exitoso en brindar un aumento en el estrés es debido a la diferencia en los entornos de entrenamiento real y virtual. En el entorno real, los bomberos se enfrentan a un fuego activo, por lo que naturalmente aumenta su estrés. Mientras que el entorno virtual carece de la misma sensación de peligro, ya que los participantes saben subconscientemente que no están en peligro real. Adicional a esto, la capacidad de los participantes para ver la habitación del mundo real mientras experimentan la simulación virtual les brinda una sensación de familiaridad y seguridad. Finalmente, aunque los participantes se mueven físicamente a través del entorno virtual, la mayor parte del tiempo permanecen sentados por razones de seguridad, lo que los lleva a relajarse en lugar de experimentar fatiga física.

Este proyecto se relaciona con el proyecto propuesto en la medida que ambos buscan mesurar la influencia o nivel de inmersión del estímulo adicional y propone situaciones a tener en cuenta que puede influir en los resultados.

2.1.2.4. aBio: Active Bi-Olfactory Display using Subwoofers for Virtual Reality [13]

El artículo nos presenta el proyecto aBio, el cual es un sistema de visualización bi-olfativa implementada en realidad virtual que entrega olores con precisión a ubicaciones específicas en lugar de difundir aire perfumado en la atmósfera, el sistema hace uso de aceites de esencias fragantes. La efectividad del sistema se verifica a través de experimentos y estudios de usuarios, el sistema propuesto tiene el potencial de aumentar el nivel de presencia en la realidad virtual al entregar olores con alta eficiencia.

Diseño del experimento y dispositivos usado: El sistema aBio hace uso de un sensor de distancia para saber exactamente dónde se ubica la nariz del usuario para la entrega de olores

o fragancias. Además, el sistema cuenta con cuatro componentes principales los cuales son una tarjeta de sonido, ESP32 o microcontrolador, Arduino y un script de interfaz, que se comunica con el sistema de realidad virtual a través de Wi-Fi y un puerto serial USB. Cabe resaltar que el sistema demostró ser eficiente en la entrega de olores con gran precisión sobre la nariz de los usuarios.

Este proyecto se relaciona con el que proponemos puesto que intenta mejorar la experiencia de los usuarios en realidad virtual a través de un sistema olfativo que entregue olores de alta calidad. Ambos dispositivos intentan no ser intrusivos para la experiencia.

2.1.2.5. An olfactory display for virtual reality glasses [14]

El documento presenta un dispositivo olfativo no intrusivo, móvil, de bajo costo y portátil que puede integrarse a gafas de realidad virtual, el cual logra emitir diferentes olores en las aplicaciones inmersivas. A través de un estudio de caso, se evaluó la satisfacción del usuario final, en la cual se mostró que hubo una mejora significativa en la experiencia al momento de incluir el estímulo olfativo.

Dispositivo olfativo y servicio de software utilizado: El dispositivo olfativo fue diseñado de tal manera que fuese ligero, fácil de acoplar a las gafas de realidad virtual, operado con baterías, de un bajo costo y a través de una interfaz de programación de aplicaciones (API) permitir el control remoto. Para lograr lo anterior, utilizaron un smartphone con Google Cardboard para las gafas de realidad virtual, y un Raspberry Pi 3 model B como controlador del sistema y emisor de fragancias. El dispositivo resultó en un sistema de bajo costo, fácil de reproducir y diseñado para admitir múltiples olores. Así mismo, el servicio de software permite a los desarrolladores integrar fácilmente el dispositivo olfativo en sus aplicaciones de realidad virtual, lo que amplía su potencial uso en diferentes dominios, como turismo, marketing, educación, entrenamiento y salud.

Resultados y conclusiones: El documento presenta los resultados de un estudio de caso en el que se evaluó la satisfacción del usuario con una aplicación de realidad virtual sencilla que incluía olores en comparación con una que no lo hacía. Treinta y dos participantes fueron reclutados al azar para este estudio, divididos en dos grupos, y se les pidió que completaran cuestionarios antes y después de probar las aplicaciones. Los resultados mostraron que el 84.8% de los participantes dio una retroalimentación positiva, en cuanto a la distracción causada, la percepción de la fragancia (agradable o desagradable), la incomodidad del dispositivo y su rendimiento, mientras que solo el 4.1% dio una retroalimentación negativa en cuanto a la distracción causada, la agradable fragancia, la incomodidad del dispositivo y su rendimiento. Por lo que se concluye que el uso de fragancias aumentó la satisfacción del usuario con la aplicación.

Una de las limitaciones identificadas en el artículo es que el estudio se centró en una aplicación simple con un solo olor, por lo que se reconoce la importancia de desarrollar aplicaciones más complejas con múltiples fragancias para simular escenarios más realistas. Además, menciona el uso de olores desagradables para comparar la percepción del usuario en trabajos futuros.

Tanto el proyecto realizado en el artículo como el proyecto propuesto actual se enfocan en brindar una experiencia con una percepción mucho más agradable e inmersiva para el usuario. Así mismo, los entornos virtuales utilizados en ambos proyectos se realizaron utilizando la herramienta y motor de videojuegos Unity 3D, en los cuales se usó cajas de colisión que delimitan el volumen y expansión del olor. A diferencia del proyecto propuesto, el prototipo y sistema mencionado en el artículo y utilizado para el aspecto olfativo se encuentra integrado junto a las gafas de realidad virtual. Mientras que, el dispositivo olfativo utilizado en el desarrollo de este proyecto se encuentra fijo en el ambiente, lo que marca un factor diferenciador en la percepción del olor.

2.1.2.6. Auditory and Olfactory Stimuli-Based Attractors to Induce Reorientation in Virtual Reality Forward Redirected Walking [15]

El artículo explora el uso de estímulos auditivos y olfativos como atrayentes para inducir la reorientación en la realidad virtual, específicamente, asociado al desplazamiento dirigido hacia adelante. Este estudio tiene como objetivo mejorar la ganancia rotacional, la naturalidad y la inmersión. Así mismo, disminuir la probabilidad de fallas en la reorientación en comparación con los atrayentes visuales. Teniendo en cuenta lo anterior, los resultados dados por el artículo muestran que los atrayentes auditivos y olfativos tienen el potencial de superar las deficiencias de los atrayentes visuales y aumentar las tasas de éxito en la reorientación. Por lo que se destaca el potencial de utilizar diferentes estímulos sensoriales además del visual, para mejorar la experiencia e inmersividad en la realidad virtual.

Diseño del experimento y dispositivo usado: El experimento se llevó a cabo en un entorno virtual creado a través del motor UNITY 3D, que simula un bosque, con estímulos visuales, auditivos y olfativos para guiar a los participantes. Para la prueba se utilizó un casco de realidad virtual, que incluye los 3 estímulos, visual y auditivo (dados por el mismo caso) y para el olfativo se le adhirió un difusor de olor. Dentro del ambiente virtual, se le permitía al usuario explorar el bosque, hasta que se aproximaran a una de las paredes, cuando esto ocurría, aparecían los atractores para redireccionar el desplazamiento del usuario, dentro de estos atractores se encontraba un ladrido de perro, un ave volando que llamaba la atención del usuario y el olor respectivo de la flor, la cual aparecía detrás del usuario.

Dentro de las limitaciones descritas en el artículo se destaca el considerar la utilización de una ventilación para el sistema de fragancias para evitar una gran dispersión de las esencias y este interfiera con la efectividad de los atrayentes olfativos. Así mismo, el estímulo auditivo puede presentar desafíos en términos de la dirección precisa de los sonidos.

2.1.3. Conclusiones generales acerca de los trabajos relacionados:

En resumen, tanto para los trabajos anteriormente mencionados como para este proyecto, es necesario encontrar las tecnologías adecuadas de modo que estas trabajen conjunta y sincronizadamente permitiendo la implementación de un dispositivo olfativo en un entorno de realidad virtual.

Adicionalmente, uno de los aspectos a destacar acerca de este proyecto frente a los que se menciona en los artículos es su enfoque, al ser aplicado a la educación de personas que cuentan con alguna discapacidad visual o auditiva, así como el uso de elementos interactivos en el entorno permitiendo una mayor inmersión y experiencia cercana al entorno real que buscamos simular.

Dentro de las diferencias analizadas con los trabajos de los artículos se encuentra principalmente lo flexibles y dinámicos que son los dispositivos olfativos utilizados en los proyectos mencionados, puesto que algunos de ellos manejan la entrega de los olores en función de la posición del usuario, permitiendo una mayor percepción sensorial, esto, mediante la portabilidad de los dispositivos olfativos o mediante el seguimiento de la posición del rostro de la persona. Por el contrario, el dispositivo con el que se cuenta para este proyecto, es fijo y externo al usuario, lo que requiere de un posicionamiento adecuado para que la entrega de las esencias sea lo más óptima posible.

Así mismo, es posible encontrar similitudes frente a estos proyectos, principalmente en como manejan los eventos para la lógica de entrega de olores, como lo es el uso de zonas de colisión o activación que permiten habilitar el dispositivo para entregar el olor, y el uso de más de una esencia y su posible combinación.

3.1. Actividades

Para culminar este proyecto se realizaron las actividades indicadas a continuación.

3.1.1. **Objetivo 1: Estudiar el sistema olfativo y las esencias que contiene de modo que se pueda identificar cuales se adaptarían mejor al ambiente virtual que se busca recrear**

Para este objetivo es necesario realizar las siguientes actividades:

1. Investigar y comprender el funcionamiento de los componentes hardware de la interfaz olfativa comercial.
2. Investigar y comprender el funcionamiento del software que configura la interfaz olfativa comercial.
3. Experimentar con las esencias contenidas en la interfaz e identificar aquellas que son similares a olores que se pueden presentar en el entorno real.

3.1.2. **Objetivo 2: Analizar y proponer las características del módulo que permitirán evaluar y verificar el correcto funcionamiento**

Para este objetivo es necesario realizar las siguientes actividades:

1. Analizar las características y propiedades del entorno virtual ya creado.
2. Identificar los objetos y las acciones dentro del entorno virtual que estarán asociados a la estimulación olfatoria.
3. Investigar los diferentes procesos y métodos que permitan conectar la interfaz olfativa con el entorno virtual.
4. Investigar y comprender las herramientas tecnológicas necesarias para llevar a cabo el proceso que permitirá la conexión mencionada en la tarea anterior.
5. Analizar los requerimientos para el desarrollo del módulo.
6. Plantear las métricas bajo las cuales se analizarán y compararán los resultados.

3.1.3. **Objetivo 3: Diseñar y adaptar el módulo determinado al entorno virtual de modo que este trabaje en conjunto con el dispositivo o sistema olfativo determinado.**

Para este objetivo es necesario realizar las siguientes actividades:

1. Realizar un esquema que permita visualizar toda la conexión y funcionamiento del módulo cumpliendo los requerimientos.
2. Definir el plan de pruebas funcional del módulo.
3. Preparar el entorno de desarrollo del módulo con las herramientas requeridas para el mismo.
4. Desarrollar el módulo.
5. Llevar a cabo las pruebas que permitan validar y verificar el funcionamiento del módulo.

3.1.4. **Objetivo 4: Evaluar y analizar los resultados respecto a la experiencia inmersiva del usuario final**

1. Llevar a cabo las pruebas de experiencia con el usuario final.
2. Analizar los resultados y retroalimentación dados por el usuario que vivió la experiencia.

Teniendo en cuenta que el usuario final hace referencia a los niños del INCS y que el proyecto presente está ligado al proyecto colaborativo Quebec, gracias a esto último, para la respectiva evaluación ya se cuenta con la aprobación del comité de ética y formatos de consentimiento por parte del mismo instituto.

3.2. Metodología ágil

Para el proyecto, desde un inicio se decidió plantear que este tuviera avances semanales en donde el director de proyecto pudiera evidenciar y dar una retroalimentación a los avances del mismo. Teniendo en cuenta lo anterior, consideramos el uso de una metodología ágil, pues es el tipo de metodología con la que más se ha trabajado a lo largo de la carrera en algunas asignaturas. Esto, debido a que las metodologías ágiles aportan una organización constante durante el desarrollo, permitiendo trabajar el proyecto en etapas con un avance más eficiente, un mayor control de calidad y reduciendo los riesgos pues los cambios se abordan de manera temprana en el desarrollo.

3.2.1. Metodología SCRUM

La metodología ágil utilizada en el proyecto fue SCRUM, siendo un entorno de desarrollo donde se efectúa una serie de acciones con el objetivo de abordar eficientemente proyectos, cabe resaltar que el trabajo en equipo es importante y aún más la comunicación entre todos los implicados durante el desarrollo del proyecto. La metodología SCRUM consiste en llevar a cabo sprints, los

cuales consisten en dividir el proyecto en partes pequeñas con el fin de abordar el cumplimiento de tareas de una manera más ordenada, rápida y eficiente. La duración de un sprint puede variar entre 2 a 4 semanas dependiendo del equipo de desarrollo, por lo que un proyecto puede estar compuesto de varios sprints hasta llegar al producto final.

3.2.1.1. Roles en la metodología SCRUM

Desde la guía oficial de SCRUM se mencionan los roles y la definición de los mismos, los cuales son:

- **Product Owner:** “El Product Owner es responsable de maximizar el valor del producto resultante del trabajo del Scrum Team. La forma en que esto se hace puede variar ampliamente entre organizaciones, Scrum Teams e individuos.”[16]
- **Scrum Master:** “El Scrum Master es responsable de establecer Scrum como se define en la Guía de Scrum. Lo hace ayudando a todos a comprender la teoría y la práctica de Scrum, tanto dentro del Scrum Team como de la organización.
El Scrum Master es responsable de lograr la efectividad del Scrum Team. Lo hace apoyando al Scrum Team en la mejora de sus prácticas, dentro del marco de trabajo de Scrum. Los Scrum Masters son verdaderos líderes que sirven al Scrum Team y a la organización en general.”[16]
- **Developers:** “Las personas del Scrum Team que se comprometen a crear cualquier aspecto de un peldaño concreto hacia el Objetivo del Producto utilizable en cada Sprint son Developers.”[16]

3.2.1.2. Eventos de la metodología SCRUM

Desde la guía oficial de SCRUM se mencionan los eventos para la aplicación de esta metodología y su definición, los cuales son:

- **Sprint:** Los Sprints son actividades a realizar durante cortos lapsos de tiempo, los objetivos del Sprint no siempre deben cumplirse todos, pero al suceder esta situación se debe priorizar para el siguiente sprint. Los Sprints se pueden considerar como pequeñas divisiones del proyecto y una vez se concluyan todos los Sprints se llega al producto final.
- **Sprint Planning:** El Sprint Planning se hace al inicio de cada Sprint, en donde se establece el trabajo a realizar durante el Sprint.
- **Daily Scrum:** El Daily Scrum se realiza con el propósito de saber el progreso hacia el objetivo del Sprint. Este es un evento que se realiza a diario durante el Sprint activo. Este evento no tarda más de 15 minutos y lo practican los developers del equipo de Scrum.
- **Sprint Review:** El Sprint Review es una actividad que se realiza al finalizar cada Sprint, en donde el equipo de Scrum presenta los resultados del trabajo durante el Sprint a los interesados

del proyecto para tomar decisiones para el siguiente Sprint, el propósito es saber el resultado del Sprint y determinar adaptaciones futuras para el desarrollo.

- **Sprint Retrospective:** El Sprint Retrospective se realiza con el propósito de planificar formas para aumentar la efectividad y calidad para los siguientes Sprints ya que se busca las mayores dificultades del equipo durante el Sprint para tomar decisiones que mejoren estas situaciones para los siguientes Sprints. Esta actividad tiene una duración de tres horas aproximadamente para Sprints de un mes, si son más cortos esta actividad puede reducir en tiempo.

3.2.2. Metodología SCRUM aplicado al proyecto

En esta sección se presenta cada uno de los Sprints realizados a lo largo del proyecto, describiendo las actividades realizadas en cada uno, y observaciones importantes en algunos de los Sprints. El tiempo que ocupó cada Sprint fue de 15 días y en total fueron 8 Sprints para llegar al resultado deseado.

- **Sprint #1:**

1. Investigar y comprender el funcionamiento de los componentes hardware de la interfaz olfativa comercial.
2. Investigar y comprender el funcionamiento del software que configura la interfaz olfativa comercial.
3. Investigar los métodos y herramientas que permitan conectar la interfaz olfativa con el entorno o motor de desarrollo.
4. Investigar sobre la integración de las gafas de realidad virtual al motor de desarrollo.
5. Analizar y definir los requerimientos para el desarrollo del módulo e integración.

- **Sprint #2:**

1. Realizar un esquema que permita visualizar toda la conexión y funcionamiento del módulo e integración cumpliendo los requerimientos.
2. Definir el plan de pruebas funcional de la integración.
3. Plantear las métricas bajo las cuales se analizarán y compararán los resultados.
4. Analizar las características y propiedades del entorno virtual ya creado.
5. Identificar los objetos y las acciones dentro del entorno virtual que estuviesen asociados a la estimulación olfatoria definida en los requerimientos.

Una vez analizado el mundo virtual existente se determinó que era pertinente la creación de un nuevo entorno virtual específico. Los detalles respecto las características del nuevo entorno y razones bajo los cuales se tomó tal decisión se detallan en la sección de **implementación**. Teniendo en cuenta lo anterior, la creación del nuevo entorno se realizó en los siguientes sprints:

- **Sprint #3:**

1. Esquematación y diseño del nuevo entorno virtual.
2. Búsqueda y selección de assets o objetos existentes en el nuevo mundo.
3. Modelado y texturización del nuevo entorno.
4. Configuración de las gafas de realidad virtual para el nuevo entorno creado.
5. Prueba de visualización del entorno virtual.

En el Sprint anterior se identificó un inconveniente en cuanto a la visualización del nuevo entorno, por lo que fue necesario volver a crear el mismo mundo con una configuración diferente en el siguiente Sprint. Las razones se detallan en la sección de **implementación**.

- **Sprint #4:**

1. Búsqueda y selección de assets o objetos existentes en el mundo para la nueva configuración.
2. modelado y texturización del entorno.
3. Reconfiguración de las gafas de realidad virtual para el nuevo entorno creado.
4. Prueba de visualización del entorno virtual.

La **actividad 4** del **objetivo 3** hace referencia a la integración en conjunto del dispositivo olfativo y la realidad virtual con el mundo, así como los eventos e interacción de este último. Por lo que esta actividad se llevó a cabo en subtarear y varios sprints, como se mencionan a continuación.

- **Sprint #5:**

1. Preparación del entorno virtual creado con las herramientas necesarias para el desarrollo del módulo e integración.
2. Implementación para agarrar objetos en el mundo.
3. Instalación, integración y configuración inicial del dispositivo olfativo al entorno virtual.
4. Implementación para activar el dispositivo olfativo ante eventos de acercamiento con los objetos que se pueden agarrar.

- **Sprint #6:**

1. Agregar el modelo del mono tití como **NPC**.
2. Implementación para reproducir sonido ante evento de acercamiento al modelo del mono tití.
3. Implementación para activar el dispositivo olfativo ante evento de acercamiento al modelo del mono tití.
4. Creación de animaciones para el modelo del mono tití.

- **Sprint #7:**

1. Implementación para activar las animaciones del mono ante evento de acercamiento al mismo.
2. Implementación y creación evento que permita alimentar al mono.
3. Explorar y seleccionar las esencias a utilizar para los objetos que emiten olor.
4. Llevar a cabo las pruebas que permitan validar y verificar el funcionamiento del módulo.

- **Sprint #8:**

1. Llevar a cabo las pruebas de experiencia con el usuario final.
2. Analizar los resultados y retroalimentación dados por el usuario que vivió la experiencia.

Para idear y dar inicio a lo que fue el proyecto, se hizo uso de la narrativa previamente creada en el proyecto Québec para el instituto de niños ciegos y sordos, el cual consiste en la enseñanza, utilizando actividades interactivas en un entorno de realidad virtual, acerca de algunos animales emblemáticos que se pueden encontrar en Colombia, como lo es el cóndor, el oso de anteojos, el leopardo y finalmente el mono tití. En este entorno, el niño lograba interactuar con estos distintivos animales. Por lo que se tomó principalmente la decisión de usar únicamente el mono tití, pues es uno de los más representativos actualmente y el cual se encuentra en peligro de extinción, como se mencionó en el capítulo 2 del marco de referencia, por lo que fue el protagonista principal desde el inicio del proyecto colaborativo. Así mismo, se decidió de esta manera para poder enfocarnos en darle más detalle e inmersión a un único entorno y hábitat específico que hacerlo para más animales a nivel general como la narrativa original.

Teniendo en cuenta lo anterior, de allí en adelante, cada una de las ideas y funcionalidades que hizo parte del proyecto se consultaron con el director de proyecto, el cual ha participado desde un inicio en el "Proyecto colaborativo Colombia-Québec Narrativa, realidad virtual y deficiencias sensoriales", por lo que contaba con toda la información y experiencia necesaria para brindar apoyo en el desarrollo de este proyecto.

4.1. Listado de requerimientos

Durante la etapa del análisis se realizó un levantamiento de los requerimientos del proyecto tanto funcionales (RF), los cuales especifican las funcionalidades principales de un sistema o software, con el propósito de cumplir algo en específico, como los requerimientos no funcionales (RNF) que establecen los estándares que debe cumplir el sistema respecto a su rendimiento, seguridad y usabilidad.[17]

4.1.1. Requerimientos Funcionales

1. Visualización del usuario en el entorno virtual (RF-01).

- **Descripción:** Permitir al usuario poder ver y explorar el entorno en realidad virtual con la ayuda de los cascos de VR.

- **Criterios de éxito:** Visualización del mundo de manera fluida, basada en la cantidad de cuadros por segundo (mínimo 24) e identificación de los componentes del entorno virtual, los cuales se detallan mucho más adelante en la sección de **implementación**.
2. **Permitir al usuario interactuar con objetos en el entorno virtual (RF-02).**
 - **Descripción:** Permitir al usuario interactuar (soltar o recoger) con objetos, en este caso las frutas, dentro del entorno virtual.
 - **Criterios de éxito:** Permitir recoger y dejar caer los dos tomatillos que se encuentran ubicados a lo largo del recorrido, de manera repetitiva, sin generar errores en algún momento.
 3. **Permitir al usuario interactuar con los NPC'S en el entorno virtual (RF-03).**
 - **Descripción:** Permitir al usuario interactuar (acercarse o alimentar) con los NPC'S, en este caso el mono tití en el entorno virtual.
 - **Criterios de éxito:** Dejar acercar al usuario al mono tití y alimentarlo acercando la fruta a su cabeza, haciendo que esta desaparezca una vez entre en contacto con la misma, simulando el ejercicio de alimentar al mono.
 4. **Permitir al usuario sentir olores mediante el Cilia Developer Kit en el entorno virtual (RF-04).**
 - **Descripción:** Permitir al usuario percibir olores mediante el uso del kit de olores (Cilia Developer Kit), es decir al menos tres olores, al interactuar (alejarse, acercarse o alimentar) con algunos objetos o NPC'S (mundo, tomatillos y mono tití) del entorno virtual.
 - **Criterios de éxito:** Se logra percibir los tres olores (herbal, tomatillo y a mono tití) puestos en el entorno, así como notar una diferencia entre ellos.
 5. **El sistema debe permitir la ejecución de animaciones realizadas por el mono tití dentro del entorno virtual (RF-05).**
 - **Descripción:** El mono tití es un NPC y tendrá movimientos fluidos y naturales con la ayuda de animaciones creadas para su interacción con el usuario.
 - **Criterios de éxito:** Observar las animaciones fluidas, es decir, de manera ininterrumpida y natural, basada en los cuadros por segundos en la que estas se ven. Adicionalmente, que estas animaciones se activen en los momentos correctos (al acercarse y alejarse del mono).
 6. **Permitir al usuario escuchar los sonidos o chillidos del mono tití (RF-06).**
 - **Descripción:** El mono tití emitirá sonidos al interactuar con el usuario cuando este se acerque.
 - **Criterios de éxito:** Escuchar el sonido del mono tití al momento de acercarse, estando a una distancia aproximadamente de 15 pasos a donde este se encuentra.

4.1.2. Requerimientos No Funcionales

1. Tiempos de respuesta del dispositivo olfativo (RNF-01).

- **Descripción:** El tiempo de respuesta entre la interacción en el entorno virtual y el dispositivo olfativo debe ser no mayor a 2 segundos.
- **Criterios de éxito:** La respuesta de los olores al interactuar con los eventos que los activan debe ser casi inmediata, no superar los 2 segundos.

2. La aplicación debe ser accesible (RNF-02).

- **Descripción:** El entorno virtual creado debe ser accesible para cualquier usuario incluyendo principalmente a los niños que cuenten con alguna discapacidad visual o auditiva a través del sistema olfativo implementado.
- **Criterios de éxito:** Los niños logran interactuar con el ambiente y percibir los olores, sea de manera autónoma o asistida.

4.2. Diagrama de casos de uso

El diagrama mostrado a continuación permite ver el comportamiento de todo el módulo o entorno virtual basado en los requerimientos, teniendo en cuenta también los actores principales para el funcionamiento completo de este incluyendo el sistema de olores “Cilia Developer Kit” y los cascos “Meta Quest”.

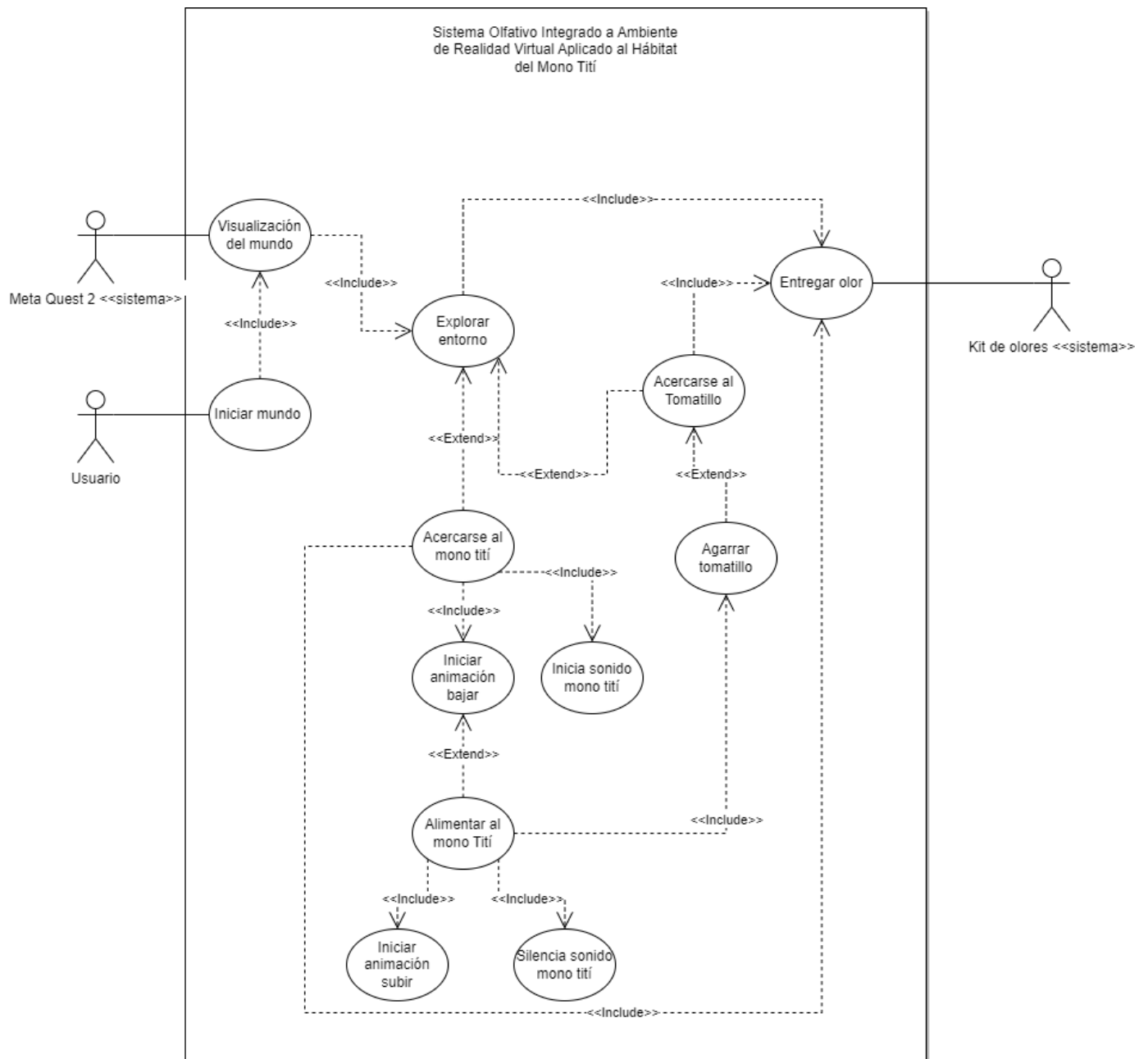


Figura 4.1

La **Figura 4.1** muestra el diagrama de casos de uso. Para este se tuvo en cuenta 3 actores (Meta Quest 2, Cilia Developer Kit y Usuario). El usuario al iniciar su experiencia va a poder visualizar y explorar el ambiente virtual con la ayuda de los cascos Meta Quest 2, mientras esto sucede, recibe la fragancia herbal con la ayuda del Cilia Developer Kit. Una vez el usuario inicie la exploración

del mundo puede tomar la decisión de recoger o soltar objetos, en este caso los frutos (tomatillos), pudiendo percibir la fragancia a tomatillo al acercarse a estos. El usuario también puede dirigirse a donde se encuentra el mono tití y al estar a una distancia cercana a este, se activa su animación bajando del árbol, se entrega la fragancia a mono y se activa el sonido de su chillido. Una vez sucedido lo anterior, el usuario puede decidir si alimentarlo o alejarse de él. Al optar por alimentar al mono, el sonido del chillido se apaga, se activa la animación de subir al árbol y se detiene la fragancia. Por otro lado, si decide alejarse, este también ejecuta las acciones anteriormente mencionadas.

5.1. Diseño de la arquitectura del sistema

La arquitectura del sistema permite ver a nivel general como está conformado cada uno de los componentes del proyecto, así sus respectivas relaciones, conexiones y demás sistemas utilizados para su completo funcionamiento. Dado que la herramienta utilizada para el proyecto fue UNITY, este permite manejar diferentes arquitecturas para la creación y desarrollo de diferentes proyectos. En este caso el que permitió representar el proyecto, es la arquitectura conocida como ECS, cuyas siglas hacen referencia a Entidad, Componente y Sistema. Este tipo de arquitectura permite brindar al desarrollo del proyecto una menor interdependencia de código y habilidad para combinar propiedades de entidades[18].

A continuación se define Entidad, componente y sistema:

- **Entidad:** Son aquellos objetos tangibles y visibles dentro del mundo virtual.
- **Componente:** Es un conjunto de datos asociados a las entidades, dándole propiedades dentro del mundo, por ejemplo, coordenadas de posición de un objeto, así como velocidad y aceleración para calcular su gravedad.
- **Sistema:** Es la lógica de cómo se comportan dichos objetos en el entorno. Un sistema provee la lógica que transforma los datos de un componente de un estado actual a un estado siguiente.

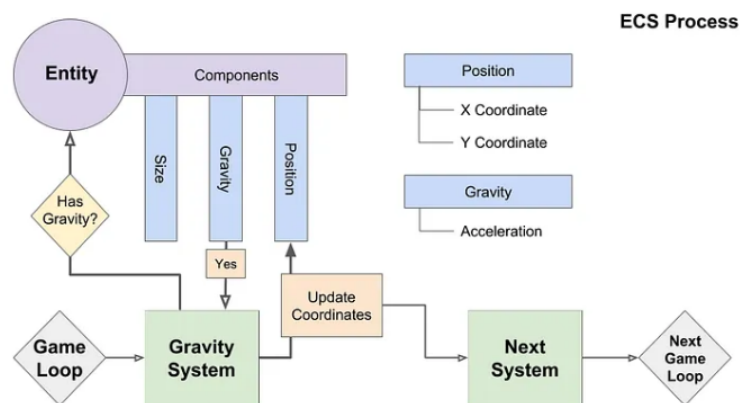


Figura 5.1.1: Diagrama de flujo proceso ECS. [18]

5.2. Diagrama de clases

Un diagrama de clases permite representar todos los elementos que componen un sistema visualizando los diferentes objetos que contiene dicho sistema, así como los métodos y los atributos asociados a las clases u objetos. Este tipo de diagrama pertenece a los diagramas de estructura estática [19]

La **Figura 5.2** muestra el diagrama de clases del proyecto realizado en este trabajo.

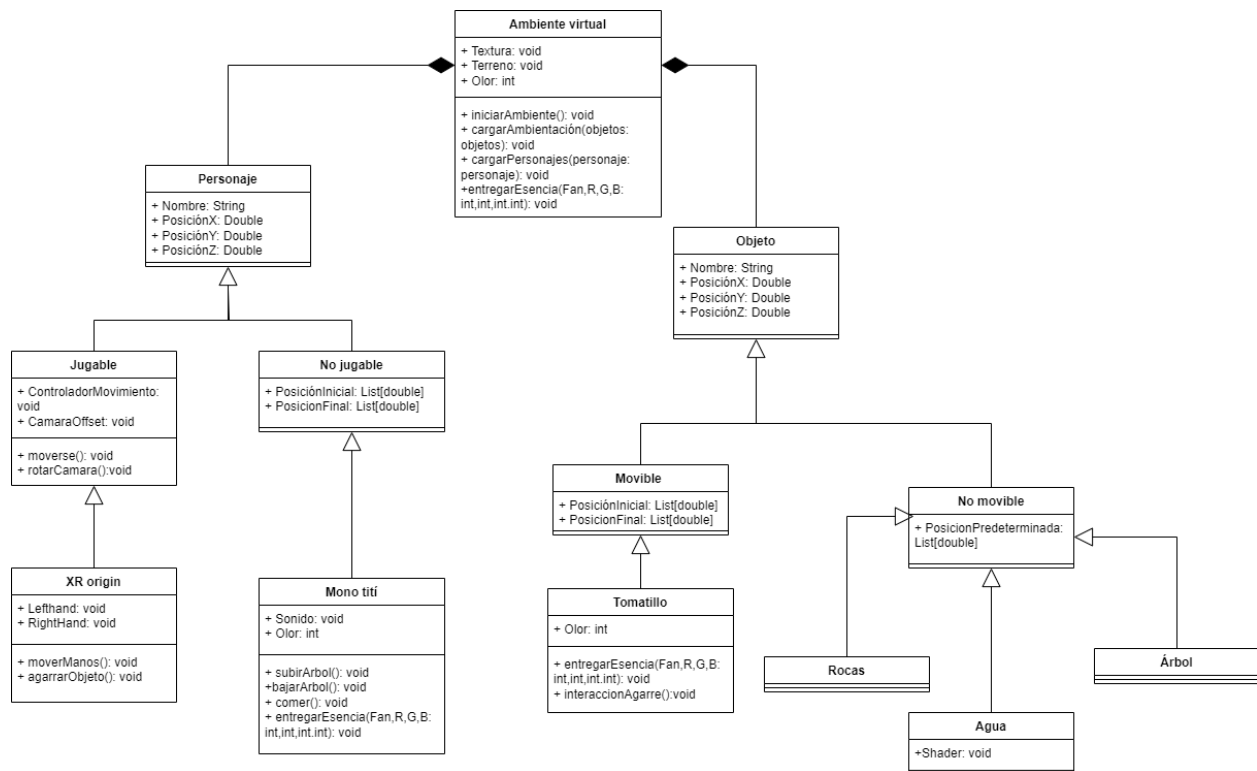


Figura 5.2

En este podemos encontrar una clase principal asociada al mundo en general. A partir de este, se derivan dos clases adicionales que representan los componentes del mundo, los personajes, quienes hacen de protagonistas en el mundo virtual y los objetos, que son aquellos que se encuentran distribuidos en el mundo y con los cuales interactúa el personaje.

Dentro de los personajes se encuentran los jugables y los no jugables, estos últimos a diferencia de los jugables, únicamente interactúan con el entorno y el usuario, más no permiten ser controlados directamente. Los personajes jugables son aquellos que controla el usuario de manera directa.

Dentro de los objetos se encuentran los movibles y no movibles. Los movibles como su nombre lo indica son aquellos que tienen la posibilidad de cambiar de lugar una vez generados en el entorno,

como lo es el tomatillo, alimento del mono tití. Y los no movibles son aquellos que una vez generados en el mundo, se mantienen en su posición inicial hasta finalizar la experiencia.

5.3. Diagrama de flujo

El diagrama de flujo representa el flujo o secuencia de actividades presentes en un proceso, sistema o algoritmo informático [20]. A continuación, se presenta la secuencia paso a paso del sistema realizado:

1. Inicio del sistema.
2. El usuario decide si explorar el mundo, es decir caminar por el ambiente virtual, de lo contrario, permanece en el inicio.
3. Al explorar el ambiente virtual, se empieza a percibir el olor herbal que entrega esta experiencia con la ayuda del Cilia Developer Kit, haciendo referencia al aroma del bosque. Una vez el usuario empiece a explorar el mundo puede acercarse al árbol del mono tití o recoger tomatillos en el ambiente virtual y percibir el olor que entregan estos frutos.
4. Al acercarse al árbol del mono tití se activa la animación de bajar del árbol, se reproduce el sonido de sus chillidos y entrega el olor del mono tití. El usuario si se aleja del mono tití o lo alimenta con un tomatillo, este realizará la animación de subir al árbol dejando así de hacer sus chillidos.

En el diagrama de flujo (**Figura 5.3**) se puede detallar el funcionamiento del sistema mencionado anteriormente.

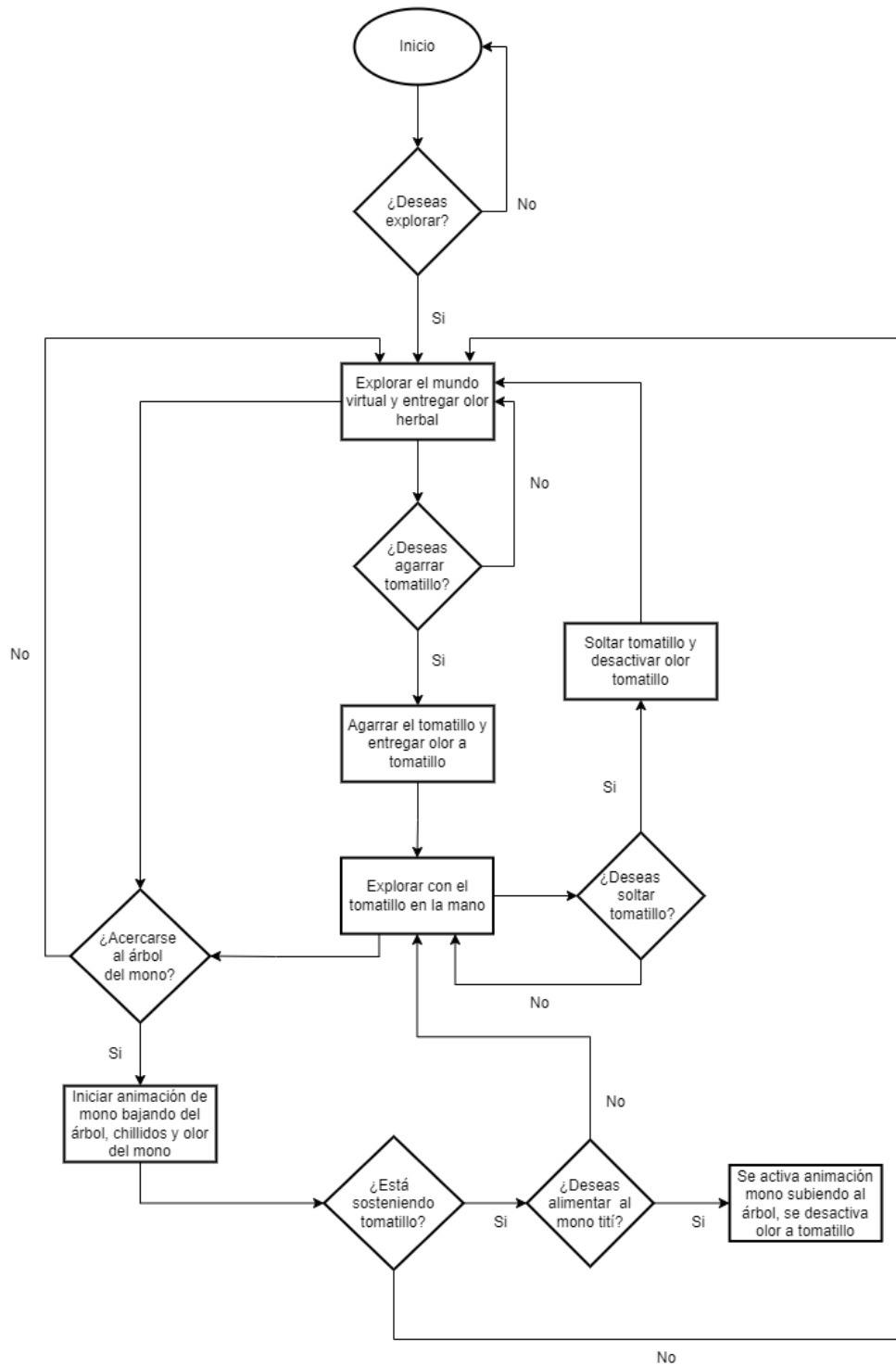


Figura 5.3

5.4. Diseño de los personajes no jugables(NPCS)

Un NPC (non-playable character) o personaje no jugable es aquel que se ubica en un mundo virtual ya sea en un juego o simulación, pero no es controlado por el usuario, sino que se sitúa para ser un complemento, punto de interacción o guía en dicho entorno.[21]

El único personaje no jugable dentro del entorno virtual, el mono tití, fue tomado del mundo inicial original, cuyo diseño y creación fue realizado por el artista 3D Johnatan Soto. Dicho diseño cuenta tanto con el modelo 3D del mono tití, así como la texturización del mismo con sus colores característicos y su **rigging**. Este último es el proceso de tomar un modelo 3D estático y adherirle un sistema de esqueletización o articulación para permitir la deformación del mismo, permitiendo que se puedan realizar diferentes tipos de animación del modelo, dándole movimiento. [22]

Este modelo del mono tití, por lo tanto, utilizó la técnica de animación por esqueletización como se muestra en la **Figura 5.4**.



Figura 5.4

5.4.1. Máquina de estados de los personajes no jugables(NPCS)

En el siguiente diagrama, **Figura 5.4.1**, se muestran los diferentes estados disponibles para el NPC, en este caso el mono tití, a partir de las diferentes interacciones que puede hacer el usuario con el mismo activando animaciones que ocurrirán con las siguientes acciones: acercarse, alejarse y alimentarlo.

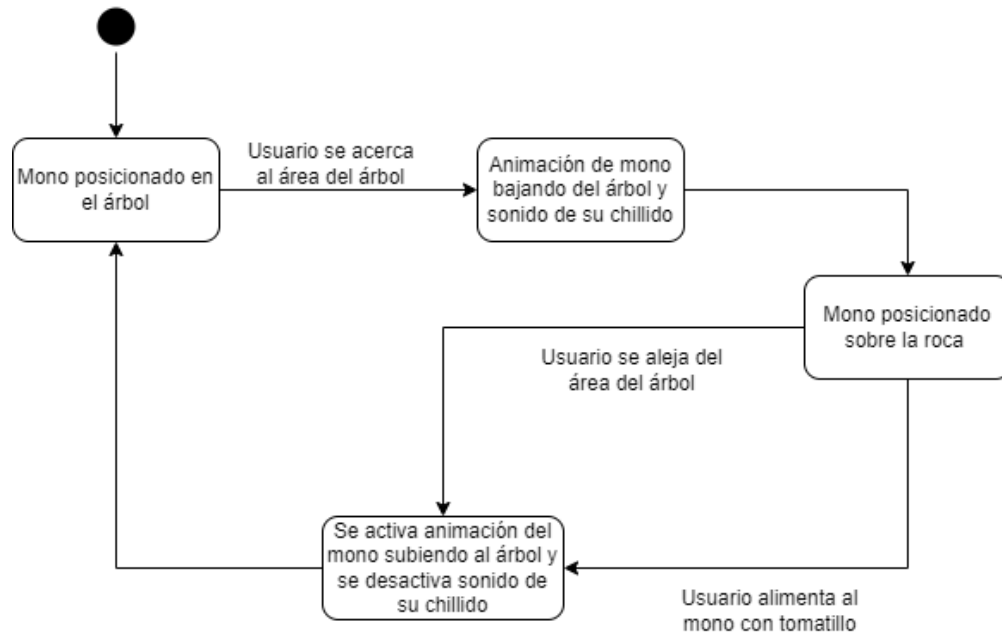


Figura 5.4.1

Implementación

6.1. Dispositivos de desarrollo

Durante el desarrollo del proyecto se utilizó un computador que se encuentra en la Pontificia Universidad Javeriana Cali junto a unas gafas de realidad virtual Meta Oculus Quest 2 y no menos importante el dispositivo que ayudó a implementar olores en el mundo virtual, el cual es un Cilia Developer Kit propuesto por la empresa Haptic Solutions, el cual fue proporcionado por el Instituto para Niños Ciegos y Sordos.

A continuación, se detallarán los dispositivos empleados en el proyecto, mencionando cada una de sus características:

■ **Computador:**

El computador empleado en el desarrollo del proyecto tenía las siguientes características:

- **Procesador:** Intel Core i7-11700.
- **Tarjeta Gráfica:** NVIDIA GeForce RTX 3060.
- **Ram:** 32 GB RAM.

■ **Meta Quest 2:**

La compañía Meta presentó al mercado en octubre del año 2020, unas gafas que permiten vivir experiencias en realidad virtual, siendo tanto visual como auditiva. Por lo que es una excelente opción a la hora de querer vivir totalmente una experiencia inmersiva. Estas gafas tienen las siguientes características:

- **Procesador:** Snapdragon XR2.
- **Almacenamiento:** 128 GB.
- **Sonido:** Audio posicional 3D.
- **Conectividad:** Wifi-6.
- **Pantalla:** LCD de cambio rápido.
- **Resolución:** 1832 X 1920 en cada ojo.
- **Tamaño:** 22,4 cm X 45 cm.
- **Peso:** 503 gramos.

- **Cilia Developer Kit:**

Este dispositivo fue diseñado especialmente para desarrolladores de juegos, con el propósito de integrar aromas en sus proyectos. Las características de este dispositivo son las siguientes:

- **Perfil bajo:** cabe debajo de la pantalla sin causar obstrucciones.
- **Color:** LED RGB.
- **Simplicidad:** Al encenderse un ventilador el aroma empieza a fluir, pero al apagarse este desaparece de inmediato.
- **Intensidad variable:** La velocidad del ventilador es controlable para una intensidad de aroma variable.
- **Compatibilidad:** Es compatible para integrarse con motores de videojuegos Unity 3D y Unreal Engine.

Para el desarrollo de este proyecto se tuvieron en cuenta estas especificaciones y finalmente estos fueron los dispositivos a los que se pudo tener acceso y disponibilidad para el desarrollo de la aplicación.

6.2. Software para el desarrollo

En esta sección se describe la herramienta de software utilizada para el desarrollo del proyecto, así mismo su razón de ser y qué funcionalidades del proyecto se realizaron con dicha herramienta.

6.2.1. Unity

Es un motor de desarrollo de videojuegos multiplataforma. El cual permite la creación de juegos y diferentes experiencias interactivas tanto en 2D como 3D. Dentro de las plataformas para las que permite el desarrollo se encuentran: los computadores, consolas, dispositivos móviles y realidad virtual (VR).

Las razones por las que decidió usar esta herramienta es debido al conocimiento básico previo que se tenía sobre esta por parte de los integrantes del proyecto, lo que permitió una mayor adaptabilidad y disminución en la curva de aprendizaje. Así mismo, esta herramienta cuenta con una basta documentación y comunidad en línea a la cual consultar. Y adicional a esto, fue posible encontrar assets o modelos 3D de uso libre para el diseño del respectivo mundo virtual, lo que agilizó la creación del mismo. Cabe mencionar que Unity cuenta con un entorno de desarrollo que facilita la creación, escritura y depuración de scripts de código utilizados para programar la lógica de los eventos en el mundo virtual. El lenguaje utilizado por Unity es **C#**, cuyo paradigma de programación es el **orientado a objetos**. Paradigma utilizado mayormente en la creación de videojuegos.

Teniendo en cuenta lo anterior dentro de esta herramienta se realizó lo siguiente para el desarrollo del proyecto:

6.2.1.1. Creación del entorno virtual:

Como se mencionó en el apartado de Sprints, una vez analizado el mundo virtual inicial, se decidió crear un ambiente virtual totalmente nuevo. Las razones que se consideraron y por las cuales se tomó dicha decisión fueron,

A nivel subjetivo:

- El entorno contaba con otros diferentes animales, lo cual podría distraer al usuario del personaje principal de la experiencia (el mono tití).
- El entorno era pequeño y contaba con aspectos y características visuales sencillas, lo que haría la experiencia demasiado corta, menos interactiva, y menos llamativa.
- Se quería, por lo tanto, un entorno que generara un impacto emocional positivo para los niños y lo más cercano posible a una experiencia en el entorno real, es decir, parecida al hábitat del mono tití. Como se puede apreciar más adelante en las **Figuras 6.2.1.2** y **6.2.1.1.3**

A nivel técnico:

- La versión de UNITY en la que se construyó el mundo original era la 2020.3.32f1 (lanzada en Marzo 23, 2022) la cual era la más actualizada en su momento. Sin embargo, la versión en la que se creó el nuevo mundo y con la que contaba la maquina en la que se construyó el proyecto, era una más actualizada, la 2021.3.23f1 (lanzada en Abril 14, 2023), la cual contiene mejoras en cuanto a la creación de shaders y animación [23]. Lo cual favoreció a la creación de componentes esenciales como el río y la animación del mono, descritos más adelante en esta misma sección, así como la definición de shader.
- Editar el mundo inicial tomaría un poco más de trabajo al tener que revisar detalladamente las características y propiedades de cada objeto o componente utilizado, entendiendo cómo y desde dónde se crearon cada uno de ellos para su posterior edición y modificación.

En la **Figura 6.2.1.1.1** se puede observar el mundo inicial original. En este como se mencionó, se encuentran los demás animales que acompañan al mono tití y cada uno de los alimentos correspondientes a cada animal, unos cuantos árboles y un riachuelo.



Figura 6.2.1.1.1

Por lo que la idea fue construir, a partir de texturas y assets de uso libre de la tienda de Unity, un nuevo entorno similar al hábitat del mono tití, el cual geográficamente se ubica en las selvas tropicales de Colombia. Dentro del entorno creado se encuentran, montañas, árboles, un río, un puente para cruzar de una zona a otra, modelos del mono tití, tomatillos (con los cuales se interactúa) y rocas. Para lo anterior realizamos una investigación acerca del hábitat del mono tití a través de videos e imágenes y así tener una referencia de los modelos a usar en el entorno virtual de modo que este tuviese una representación o visualización similar al real.

Dado que el mono tití cabeciblanco habita en zonas boscosas al noroeste de Colombia, ubicadas entre ríos representativos e importantes como el Atrato y el Magdalena [24], se pensó en un ambiente con alta densidad de árboles, así como un río parecido al de su hábitat.

Para los árboles se tomó de los modelos libres disponibles de la tienda de Unity y se escogieron los más similares en características a los del hábitat real, estos son, una alta densidad de hojas pequeñas en sus ramas, así como una gran cantidad de ramificaciones del tronco principal por donde los monos pueden desplazarse, y una textura de la madera similar (ver **Figura 6.2.1.1.2**). Cabe resaltar que se ubicó en el ambiente la cantidad de 17 árboles, los cuales fueron justos para que este tuviese una notoria densidad parecida al hábitat natural del mono tití como se puede apreciar en la **Figura 6.2.1.1.3**, en la cual vemos el mundo virtual comparado al hábitat natural real. Pensando pues, en la comodidad de la experiencia, se decidió ubicar tal cantidad mencionada para no generar dificultad al desplazamiento y exploración del mundo, ya que cada árbol cuenta con su propio box collider que no permite ser atravesado por el jugador. Un box collider, como su nombre en inglés lo dice, es un colisionador con forma de caja o cubo, que define el área de colisión de un objeto en el mundo, haciendo que este no pueda ser atravesado u ocupe la misma posición en el entorno con otro objeto. De modo que al haber demasiados árboles el jugador se vería en la necesidad de buscar por donde pasar constantemente, desorientando al usuario del recorrido y generando adicionalmente una saturación visual.

Del mismo modo, se hizo para el río, dándole el color característico del agua o de un río natural de las regiones donde el mono tití reside, con un ligero tono de color marrón, como se puede ver en el cuerpo de agua del hábitat de referencia para el mundo virtual (Ver **Figura 6.2.1.1.3**).



Figura 6.2.1.1.2

En la **Figura 6.2.1.1.2**, la imagen de referencia para la comparación del tipo de árbol real con el árbol utilizado en el entorno virtual fue tomado de un fragmento de video sobre el mono tití cabeza de algodón.[25]



Figura 6.2.1.1.3

Para el escenario final del entorno, se tomó como inspiración el mundo original (**Figura 6.2.1.1.1**) y un fragmento de un video sobre el hábitat del mono tití [26], el cual a su vez nos muestra una especie de santuario, en el cual se encuentra un lago y un espacio construido para que los monos vivan de manera segura.



Figura 6.2.1.1.4

La **Figura 6.2.1.1.4**, muestra cuatro imágenes del resultado final del nuevo entorno virtual. En las que, viéndose de izquierda a derecha, se aprecian una perspectiva general del entorno, el punto de comienzo de la experiencia, el puente que conecta a la zona del mono tití y finalmente, el árbol donde habitan los monos.

Cabe destacar que uno de los atractivos principales fue el río así como uno de los más retadores al momento de su creación, pues se buscaba que este se moviera de una manera natural y fluida, similar a los ríos encontrados en el entorno real y que el usuario pudiese presenciar dicha característica a través de las gafas de realidad virtual.

Lograr dicho movimiento presentó el primer reto al implicar una búsqueda más rigurosa de modelos de cuerpos de agua similares a un río. Cabe resaltar que este tipo de modelos requieren de un renderizado adecuado y uso de texturas, materiales y shaders, combinados para lograrlo. El proceso de renderizado consiste en crear una imagen en dos dimensiones (2D) o tres dimensiones (3D) a partir de un modelo para llevarlas a la pantalla, y el cual implica una combinación de cálculos geométricos, texturas, tratamientos de superficie, la perspectiva del espectador y la iluminación [27][28]. Por lo que el renderizado en unity consta de Materiales, Shaders y texturas como se mencionó anteriormente, los cuales se encuentran estrechamente relacionados entre sí. Estos se definen a continuación, según la documentación oficial de UNITY.

- **Materiales:** Estos definen como debe renderizarse una superficie, incluyendo referencias a las texturas que este mismo utiliza, así como la síntesis de las mismas y los tintes de color[29].
- **Shaders:** Pequeños scripts que contienen los cálculos matemáticos y algoritmos para calcular el color de cada píxel procesado, en función de la entrada de la iluminación y la configuración del material[29].
- **Texturas:** Son imágenes bitmap. Una imagen bitmap, es aquella cuya representación está basada en una matriz de puntos o píxeles, donde cada píxel contiene la información asociada a un color determinado[30]. Un Material puede contener referencias a las texturas, de modo que el Shader del Material pueda usar las texturas al calcular el color de la superficie de un objeto. Aparte del color básico de la superficie de un objeto, las texturas pueden representar muchos otros aspectos de la superficie de un material, como su reflectividad o rugosidad [29].

Teniendo en cuenta lo anterior se logró encontrar un modelo de cuerpo de agua a partir de un tutorial [31], que se ajustaba con el tipo de tecnología de renderizado usado en el proyecto y el cual contaba con las configuraciones y valores que permitían ajustar el shader del modelo para brindar el efecto del río. Por lo que se procedió a explorar y modificar estos valores hasta lograr el efecto deseado, como se muestra a continuación en la **Figura 6.2.1.1.5**

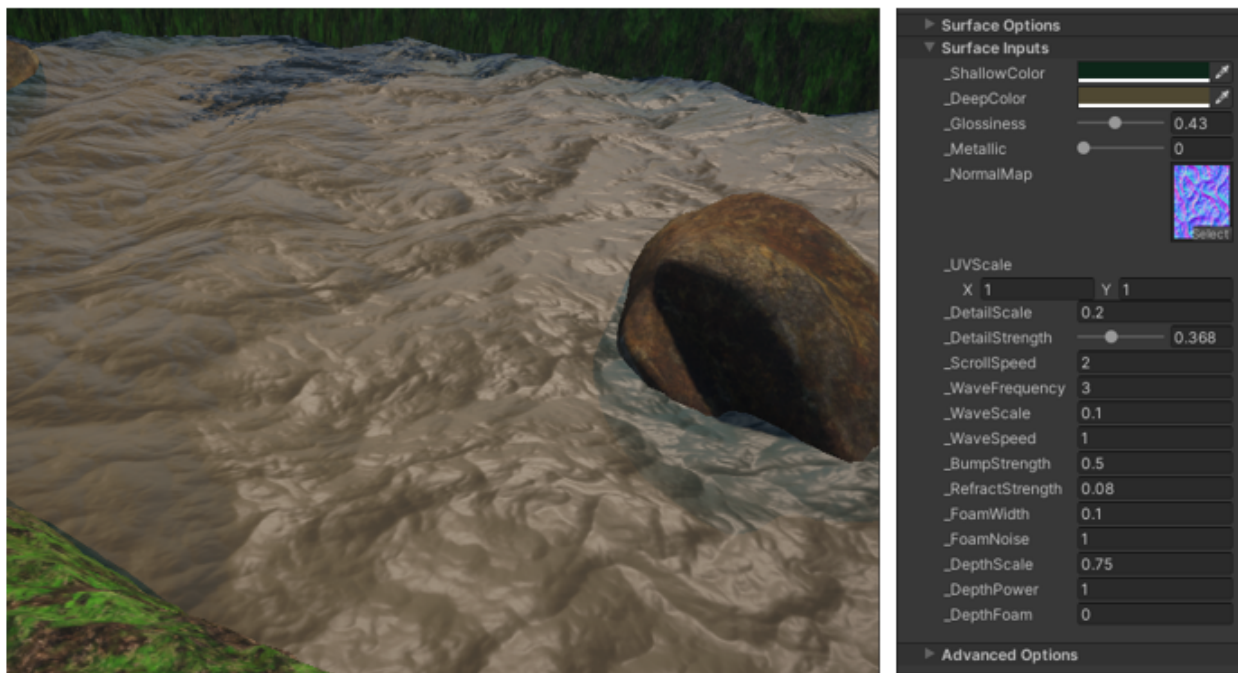


Figura 6.2.1.1.5

La figura anterior muestra el resultado final del río y al lado los valores modificados para tal resultado. Los valores que únicamente fueron necesarios modificar fueron:

- **ShallowColor** y **DeepColor** que combinan un color verde oscuro con marrón para el color característico.
- **Glossiness** para darle brillo al río y movimiento de las olas.
- **DetailScale** y **DetailStrength** para el nivel de detalle de las olas.
- **ScrollSpeed** para ajustar el nivel de velocidad con la que el efecto de corriente del río se mueve.
- **WaveFrequency**, **WaveScale** y **WaveSpeed** para ajustar la frecuencia, la altura y tamaño de las olas, así como la velocidad de las mismas.
- **BumpStrength** para el efecto visual de la fuerza o suavidad con la que golpea la corriente y las olas los objetos, en este caso las rocas.

Los demás valores mostrados en la **Figura 6.2.1.1.5** y no mencionados aquí se dejaron como venían por defecto en el shader del modelo de agua.

Ahora bien, el lograr que el usuario pudiese visualizar de manera exitosa el movimiento creado, fue el segundo y último reto, pues fue el motivo por el cual se tuvo que repetir la creación del entorno. Al momento de visualizar el río usando las gafas de realidad virtual, este se veía por el lente izquierdo y no por el lente derecho del visor, lo que daba un efecto de superposición e intermitencia al visualizarlo.

Para solucionar dicho inconveniente, y por ende superar este reto, se explica primero lo siguiente:

Unity cuenta con tres tipos de **render pipelines**, esto es, tecnologías de renderizado las cuales permiten tomar los objetos de la escena y mostrarlos en pantalla y al usuario. De modo que, al momento de crear un proyecto en UNITY, es necesario seleccionar el tipo de tecnología base a utilizar. Dicha selección depende de la complejidad de la escena y la calidad gráfica que se quiere obtener, así como los recursos de la maquina en la que se desarrolla[32]. Estas tecnologías son:

- **Built-in Render pipeline:** Tecnología de renderizado estándar para proyectos sencillos, o de requerimientos gráficos bajos. Con opciones limitadas de personalización[32].
- **Universal Render Pipeline (URP):** Tecnología de renderizado universal, utilizado para proyectos de requerimientos de desempeño y de gráficos medios. Permite la personalización de la tecnología a través de scripts[32].
- **High Definition Render Pipeline (HDRP):** Tecnología de renderizado de alta definición. Utilizada para proyectos con requerimientos de desempeño y gráficos altos para plataformas de alto nivel, usualmente para juegos AAA (Juegos producidos por grandes compañías desarrolladoras de videojuegos)[32].

Por lo que el motivo del problema presentado se debió a que el proyecto para el nuevo entorno fue creado inicialmente con el Render Pipeline integrado (Built-in), dicha configuración no soportaba la textura y shader aplicado al río para una correcta renderización y visualización a través de las gafas de realidad virtual. Adicionalmente a esto, una vez seleccionada la tecnologías de renderizado no es posible actualizarla sobre el mismo proyecto, razón por la cual fue necesario crear uno nuevo con la tecnología **URP** y dado que los objetos y assets libres seleccionados para el primero fueron configurados para la tecnología built-in, estos no se pudieron reutilizar, creando la necesidad de buscar nuevos assets que soportaran la nueva tecnología de renderizado.

6.2.1.2. Instalación y configuración de dependencias de realidad virtual:

Una vez creado el mundo, se instalaron las dependencias que tiene Unity para poder implementar la tecnología de realidad virtual, así como las configuraciones y controladores iniciales para poder ver el entorno y poderse mover a través de este.

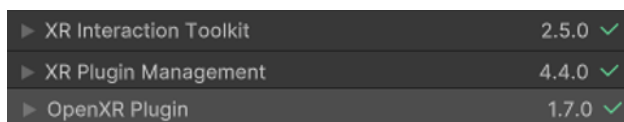


Figura 6.2.1.2

- **XR Interaction Toolkit:** Es un sistema de interacción de alto nivel basado en componentes para la creación de experiencias de realidad virtual (VR) y realidad aumentada (AR). El núcleo de este sistema consiste en un conjunto de componentes base llamados Interactor e Interactable, los cuales trabajan en conjunto para crear las interacciones entre objetos. Esta dependencia permite, en el caso del proyecto, agarrar y soltar los objetos dentro del mundo.
- **XR Plugin Management:**
Un paquete que ofrece un manejo sencillo de los complementos (plug-ins) de XR. Gestiona y brinda ayuda con la carga, inicialización, configuraciones y soporte de compilación para los complementos de XR. Permite a los desarrolladores un manejo sencillo de las interfaces y herramientas asociadas a los componentes de realidad virtual
- **OpenXR Plugin:** Permite a los desarrolladores crear proyectos para una amplia gama de motores y dispositivos VR/AR, en este caso, incluyendo los Meta Quest 2 y la herramienta Unity utilizados para este proyecto.

6.2.1.3. Integración y configuración de dispositivo de olores Cilia Developer Kit:

Se adicionó el plugin del dispositivo Cilia Developer Kit a Unity para poder hacer uso de los componentes del dispositivo dentro del entorno virtual. Dicho plugin contaba con la configuración necesaria para modificar los parámetros que accionaban los componentes del cilia cuando se actuaba en el mundo.

De modo que la integración consistió en adherir los box colliders que accionaban el dispositivo olfativo a los componentes y rama de los objetos con los que se interactuaba y posteriormente modificar el rango de respuesta y de activación. Es necesario mencionar acá que los box colliders también funcionan como activadores, es decir, en vez de funcionar como colisionadores y evitar que los objetos sean atravesados, permite activar eventos una vez se entra al área compuesta por el collider. De modo que el usuario al acercarse a dichos objetos a cierta distancia manda las instrucciones al dispositivo olfativo con la información del ventilador a activar y color RGB del mismo.

Los objetos a los que se le realizó el proceso anterior fueron todo el mundo en general para el olor herbal del entorno que se mantiene en todo el recorrido, el tomatillo y finalmente el mono tití. Lo anterior se muestra con imágenes y se describe mejor en la sección **6.2.1.5** configuración de eventos de acción e interacción.

6.2.1.4. Animaciones y movimiento del mono tití:

Para esta parte del proyecto, una de las más importantes, realizamos tanto las animaciones correspondientes para el modelo del mono tití como la configuración de los eventos que activan la animación. Todo esto en la herramienta de UNITY 3D, pues cuenta con las funcionalidades para hacerlo.

Para la animación del mono se crearon dos animaciones independientes, una para bajar de un árbol y otra para volver a subir al mismo. Para ello se tomó la animación original de caminar ya creada para el modelo del mono y se fue modificando la posición de este con el tiempo mientras la animación de caminar se reproducía, lo que resultaba en una animación de completo desplazamiento.

Adicionalmente, la animación de bajar inicia únicamente al momento de que el usuario empiece a acercarse al árbol del mono. La animación de subir, se activa en dos escenarios, cuando el usuario se aleja del área del árbol y cuando este le da de comer el tomatillo al mono. Estos eventos se detallan y se muestran más adelante en la configuración de eventos de acción e interacción.

Para la animación, la idea que se tuvo fue que el mono bajase del árbol hasta la cima de una piedra cercana de modo que este se posicionara a una altura adecuada para que el usuario pueda interactuar con él.

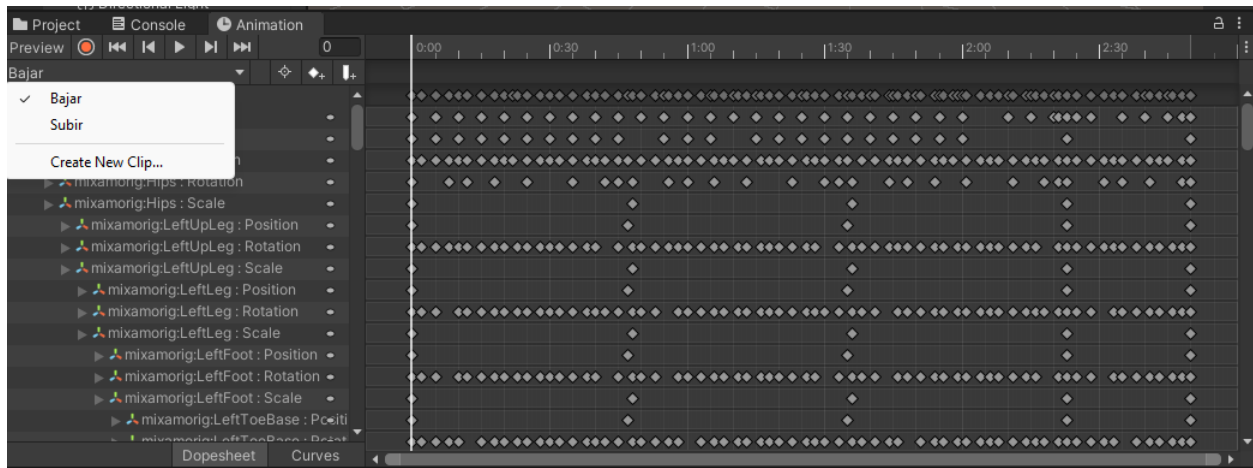


Figura 6.2.1.4.1

En la **Figura 6.2.1.4.1** se puede observar el panel de animación de UNITY. Donde se crearon las dos animaciones de bajar y subir. Los puntos en el panel de animación representan los componentes o articulaciones del mono que se modificaron con respecto a la barra de tiempo, en este caso, la posición de todo el modelo del mono, y las partes del cuerpo que hacen parte de la animación de caminar.

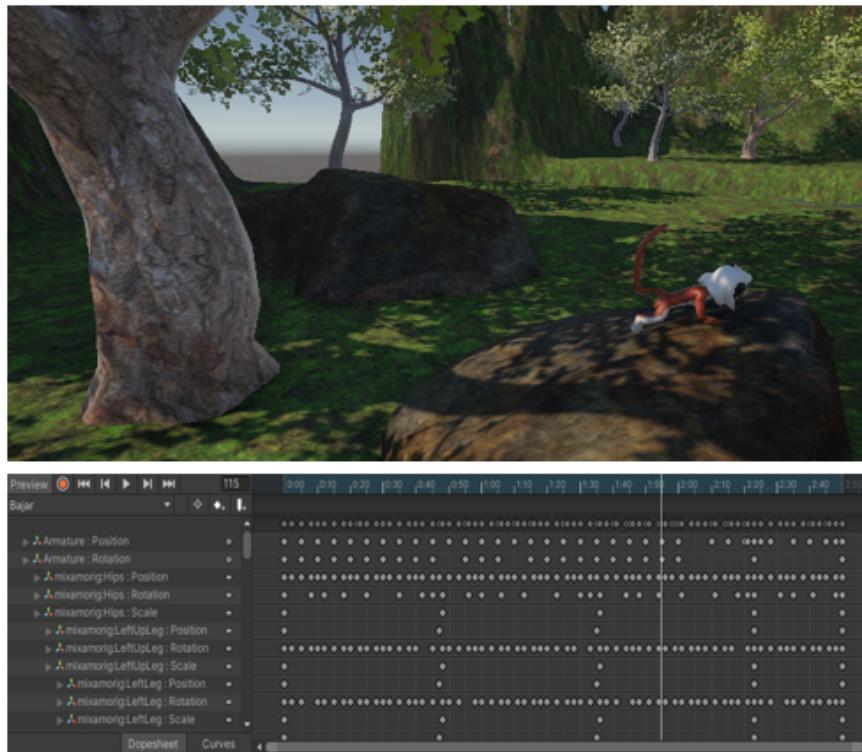


Figura 6.2.1.4.2

La **Figura 6.2.1.4.2** muestra el panel de animación del mono tití bajando del árbol, ubicando la línea temporal en el segundo 1 con 50 milisegundos, así mismo la posición del mono en el entorno en dicho momento de tiempo, el cual se encuentra aproximándose a su posición final, la cima de la piedra. En su totalidad la animación de bajar toma 2 segundos con 50 milisegundos.

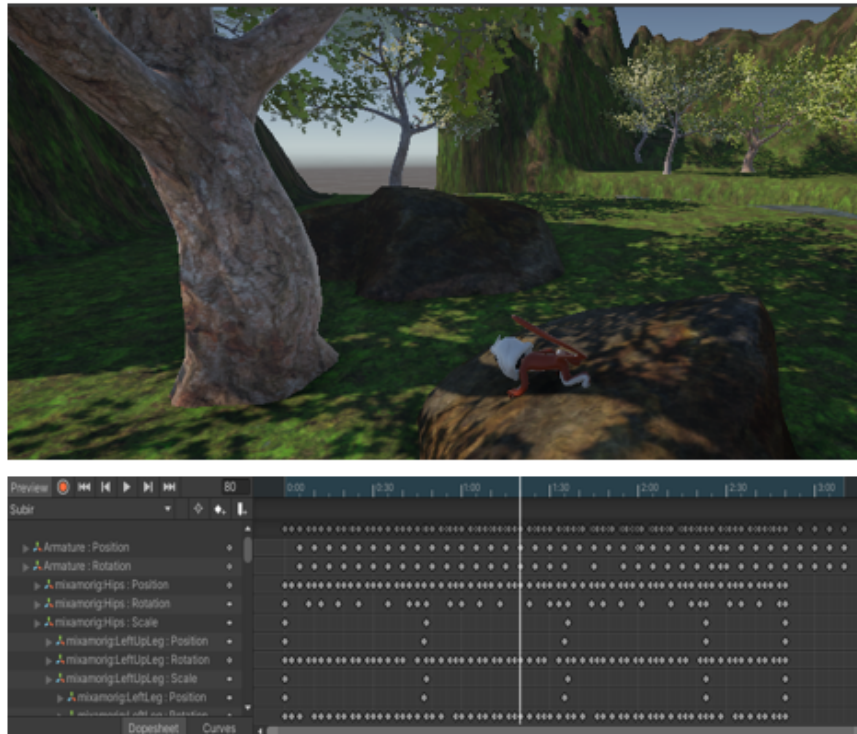


Figura 6.2.1.4.3

La **Figura 6.2.1.4.3** muestra el panel de animación del mono tití subiendo al árbol, ubicando la línea temporal en el segundo 1 con 20 milisegundos, así mismo la posición del mono en el entorno en dicho momento de tiempo, el cual se encuentra bajando de la piedra, de camino al árbol. El tiempo total que le toma a la animación de subir es de 3 segundos con 10 milisegundos.

6.2.1.5. Configuración de los eventos de acción e interacción:

La configuración de cada uno de los eventos de interacción del entorno virtual se describen a continuación:

- Se realizó la configuración en las propiedades de los tomatillos así como en el script que maneja los controles para que se pudiera agarrar cada tomatillo. Dicho script es provisto por la misma dependencia XR interaction toolkit mencionada en la sección 6.2.1.2.
- Se adhirió a los componentes del modelo de los tomatillos el box collider que activa el último ventilador del dispositivo y el box collider que activa la luz de color rojo. Ver **Figura 6.2.1.5.1** y **Figura 6.2.1.5.3**.

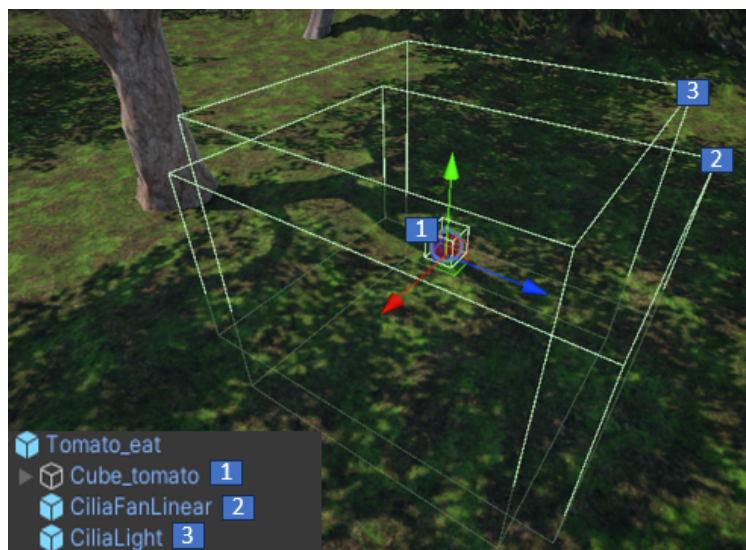


Figura 6.2.1.5.1

La figura anterior muestra la integración del olor para el tomatillo, el collider 1 es el que permite que el tomatillo se mantenga en el suelo y no traspase demás objetos, en este caso, el suelo al iniciar el mundo. El collider 2 es el que activa el ventilador que entrega la esencia una vez el usuario entra a este y el collider 3 es el que activa las luces LED del dispositivo olfativo, representando el objeto, en este caso el tomatillo con el color rojo.

- Se adhirió a los componentes del modelo del mono tití un box collider con un script asociado, que permite activar la animación del mono tití bajando del árbol y reproducir el sonido del mono cuando el usuario accede al área del box collider. Y al momento de salir del área del box collider, se activa la animación de subir y se detiene el sonido del mono. Ver **Figura 6.2.1.5.2**.
- Se adhirió a los componentes del modelo del mono tití el box collider que activa el **tercer ventilador** del dispositivo olfativo y el box collider que activa **la luz blanca**. Así como en el punto anterior, una vez entra al área de los box colliders se activa el ventilador y la luz, una vez sale del box collider se apaga únicamente el ventilador. Ver **Figura 6.2.1.5.2** y **Figura 6.2.1.5.3**.
- Se adhirió un objeto sonido con un collider en forma de esfera ubicado en la cara del mono tití cuando este baja del árbol, el cual activa el sonido del mono comiendo y la animación de subir una vez detecta que el modelo del tomatillo hace contacto con dicho collider, haciendo que el tomatillo desaparezca, ubicándolo en una posición fuera del mundo. Ver **Figura 6.2.1.5.2**.
- Se adhirió a los componentes del terreno dos colliders proporcionales al tamaño de este, asociados al olor y a la luz verde, de manera similar como se realizó con el tomatillo y el mono tití como se muestran en sus respectivas figuras ya mencionadas.

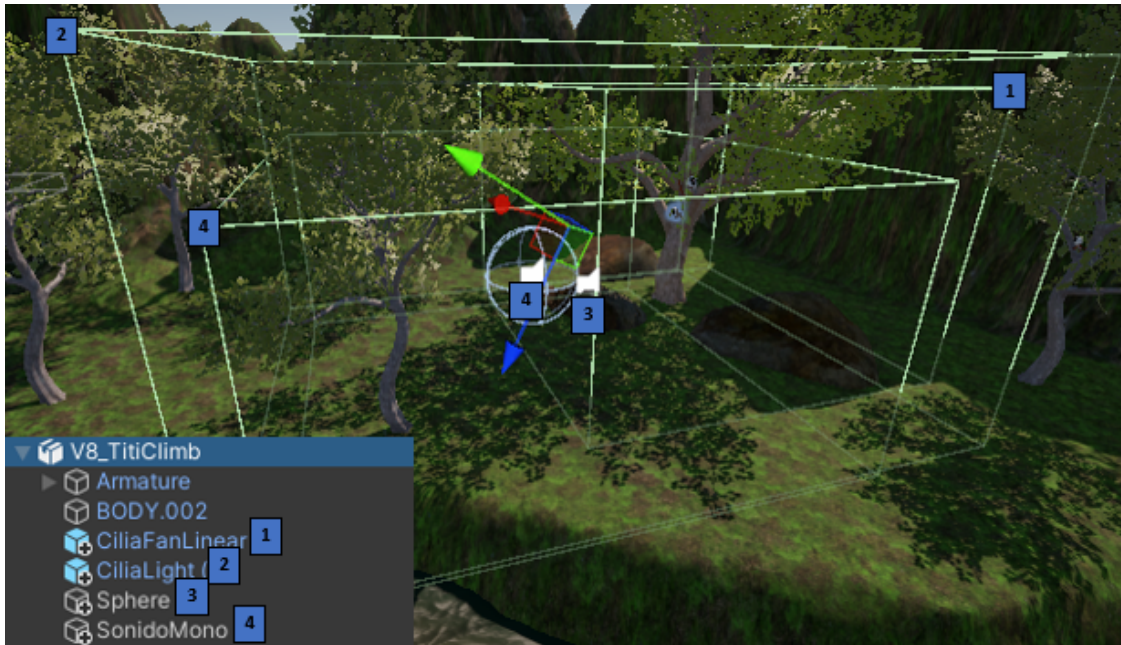


Figura 6.2.1.5.2

La figura anterior, muestra la configuración de los eventos asociados a las animaciones y olor del mono tití. El collider 1 activa el ventilador que entrega la esencia del mono. El collider 2 activa la luz LED color blanca que representa al mono. El componente 3 es la esfera con el collider que permite el evento de alimentar al mono. Y el componente 4 es el collider con sonido que permite activar la animación de bajar y de subir del mono y reproducir su sonido.



Figura 6.2.1.5.3

En la **Figura 6.2.1.5.3** se puede apreciar el Cilia Developer Kit, el dispositivo que permitió la funcionalidad de percibir los olores en realidad virtual, para este ambiente virtual, como se ha mencionado en anteriores ocasiones, se configuró tres ventiladores para que entreguen las esencias

de los olores (el del ambiente, los tomatillos Y mono tití). Al acercarnos a algún objeto de los ya mencionados, los colliders detectan tal acción y activan el ventilador y la luz que representa cada objeto. Siendo la luz verde el olor herbal, la luz blanca el olor del mono tití y la luz roja el olor del tomatillo.

Validación, Pruebas y Resultados

7.1. Validación de requerimientos

7.1.1. Requerimientos funcionales

1. **RF-1:** Visualización del usuario en el entorno virtual

- **Criterio de éxito:** Visualización del mundo de manera fluida, basada en la cantidad de cuadros por segundo (mínimo 24) e identificación sencilla de los componentes del entorno virtual.
- **Resultado:** A través de pruebas manuales, se verificó la cantidad de cuadros por segundo al iniciar el mundo virtual y explorarlo, lo que arrojó un resultado que oscila entre 30-35 cuadros por segundo, permitiendo una experiencia agradable y fluida para el usuario. Cabe resaltar que esto depende así mismo de la máquina y la conexión de las gafas con esta. Por lo que en una máquina de gama media-alta como lo es el computador utilizado para el desarrollo del proyecto, arrojó tal resultado.

Así mismo, al probar el entorno tanto personalmente como con apoyo de otros compañeros, se estuvo de acuerdo en que la distribución en la que se ubicaron los objetos en el espacio, así como el recorrido, fue proporcional al tamaño del terreno y el adecuado para navegar en el entorno sin perderse y encontrar sin complicaciones los objetos de interacción como lo son los tomatillos y el mono. Ver **Figura 7.1.1.1**.



Figura 7.1.1.1

La figura anterior, muestra la distribución de los objetos en el entorno de la siguiente manera:

- El **1** es la zona donde comienza el usuario al iniciar el mundo.
- El **2** y el **4** son las ubicaciones de los tomatillos.
- El **3** es el puente que las dos zonas del recorrido.
- El **5** es la zona donde se encuentran los monos y donde finaliza el recorrido de la experiencia.

2. **RF-2:** Permitir al usuario interactuar con objetos en el entorno virtual.

- **Criterio de éxito:** Permitir recoger y dejar caer los dos tomatillos que se encuentran ubicados a lo largo del recorrido, de manera repetitiva, sin generar errores en algún momento.
- **Resultado:** Al aplicarle la propiedad y componente de gravedad al tomatillo, así como los colisionadores correspondientes a cada uno de los objetos, incluyendo el terreno, esto hace que al iniciar el entorno, todo ellos mantengan su posición y que el tomatillo mantenga en el suelo, permitiendo al usuario tomarlo y recogerlo cuando este se le caiga o lo suelte por voluntad propia.

3. **RF-3:** Permitir al usuario interactuar con los NPC'S en el entorno virtual.
 - **Criterio de éxito:** Dejar acercar al usuario al mono tití y alimentarlo acercando la fruta a su cabeza, haciendo que esta desaparezca una vez entre en contacto con la misma, simulando el ejercicio de alimentar al mono.
 - **Resultado:** Gracias al collider esférico puesto en la cabeza del mono tití configurado como activador (Ver **Figura 6.2.1.5.2**), este permite iniciar el evento de alimentar, al iniciar el sonido del mono comiendo y transformando la posición del tomatillo a una nueva fuera del mapa para hacer que este desaparezca.
4. **RF-4:** Permitir al usuario sentir olores mediante el Cilia Developer Kit en el entorno virtual.
 - **Criterio de éxito:** Se logra percibir los tres olores (herbal, tomatillo y a mono tití) puestos en el entorno, así como notar una diferencia entre ellos.
 - **Resultado:** Esto se logró al seleccionar tres esencias de las seis que trae el dispositivo olfativo por defecto y que estas tuvieran un alto contraste entre los aromas. Para esto se tuvo en cuenta la opinión y percepción de las esencias por parte de compañeros, así como la prueba al momento de entregarlas cuando se interactúa con el entorno virtual.
5. **RF-5:** El sistema debe permitir la ejecución de animaciones realizadas por el mono tití dentro del entorno virtual
 - **Criterio de éxito:** Observar las animaciones fluidas, es decir, de manera ininterrumpida y natural, basada en los cuadros por segundos en la que estas se ven. Adicionalmente, que estas animaciones se activen en los momentos correctos (al acercarse y alejarse del mono).
 - **Resultado:** Teniendo en cuenta también la validación del requerimiento **RF-1**, y que la animación se ejecuta dentro del mismo entorno y en tiempo real, esta por consiguiente se ve a 30 cuadros por segundos como se mencionó en la validación inicial. Esto también, gracias a que la versión de UNITY utilizada para la creación del entorno viene con mejoras respecto a la optimización de las animaciones, como se mencionó en la sección 6.2.1.1. Y que al ser una animación cuadro a cuadro, los momentos de cambio de posición y transición del modelo del mono tití fueron hechos de tal manera que la animación se viera natural.
6. **RF-6:** Permitir al usuario escuchar los sonidos o chillidos del mono tití
 - **Criterio de éxito:** Escuchar el sonido del mono tití al momento de acercarse, estando a una distancia aproximadamente de 15 pasos a donde este se encuentra.
 - **Resultado:** Esto se logró haciendo que el área del box collider activador del sonido cubriera un gran espacio, haciendo que el sonido iniciara mucho antes de que el usuario se acerque por completo al árbol del mono, y pueda observarse al mono bajar desde lejos, dando tiempo a que el mono baje antes de llegar. En la **Figura 6.2.1.5.2** de implementación se puede ver el collider y en la **Figura 7.1.1.2** la perspectiva del jugador.

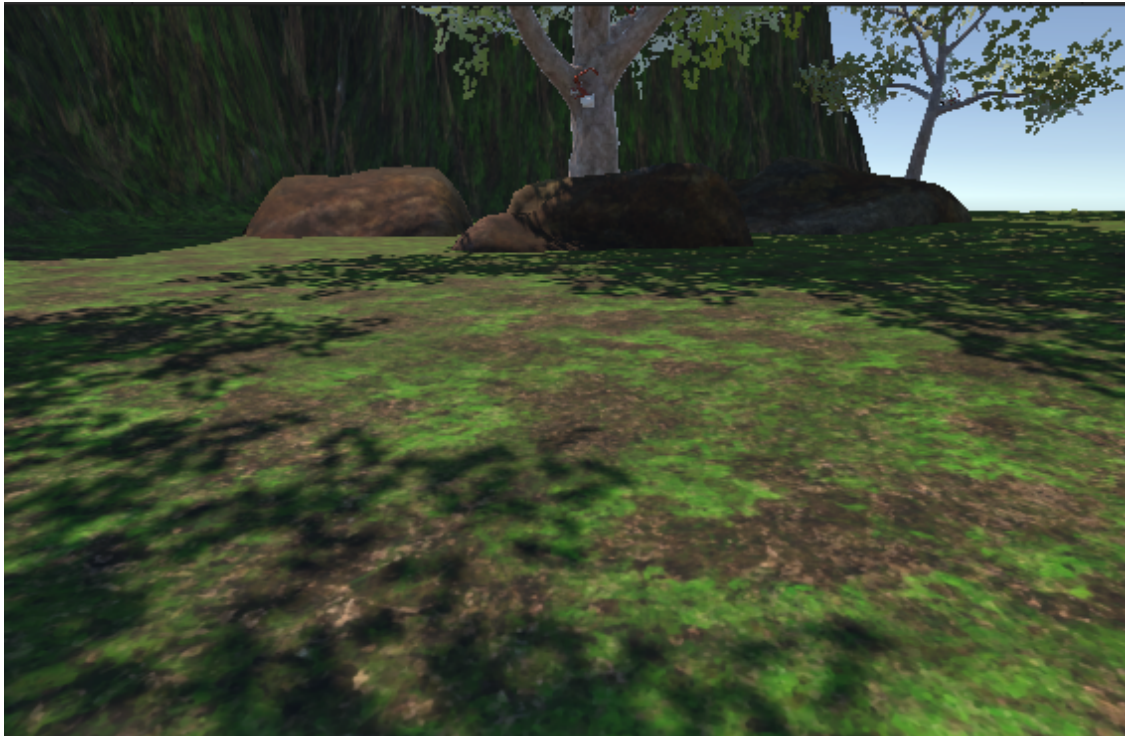


Figura 7.1.1.2

La figura anterior muestra el momento en el que el mono tití empieza a bajar del árbol, y se puede visualizar también la distancia del observador o usuario al momento de iniciar la animación. Cabe resaltar que tanto el inicio de la animación como el sonido del mono tití se reproducen al mismo instante.

7.1.2. Requerimientos no funcionales

1. **RNF-01:** Tiempos de respuesta del dispositivo olfativo.
 - **Criterio de éxito:** La respuesta de los olores al interactuar con los eventos que los activan debe ser casi inmediata, no superar los 2 segundos.
 - **Resultado:** Para esto, el dispositivo olfativo por defecto cuenta con una rápida respuesta al momento de entregar los olores. Para comprobarlo se tomó un cronómetro y se midió el tiempo que se tomaba desde que iniciaba la interacción y la percepción del olor por parte del usuario, dando como resultado un tiempo de 1 segundo en promedio.
2. **RNF-02:** La aplicación debe ser accesible.
 - **Criterio de éxito:** Los niños logran interactuar con el ambiente y percibir los olores, sea de manera autónoma o asistida.

- **Resultado:** En este caso, se obtuvo como resultado que la aplicación fue parcialmente accesible. Pues si bien todos los usuarios lograron percibir los olores, validado en el **RF-04** y **RNF-01**, la navegación del entorno para los niños, en cuanto a los controles de movimiento, requirió de asistencia para desarrollar la experiencia. Más detalles acerca de esto, se explica en los resultados de las pruebas con los niños del instituto en la sección 7.3.

7.2. Pruebas

Las pruebas para este proyecto se llevaron a cabo teniendo en cuenta y siguiendo estos tres puntos:

1. **Retroalimentación de las pruebas:** Durante las pruebas, se recopilará y analizará la retroalimentación de los usuarios (niños), mediante preguntas y comentarios, para identificar áreas de mejora y satisfacción. Así mismo al final de las pruebas se solicitará una retroalimentación por parte de los expertos del instituto.
2. **Pruebas con diversidad de usuarios:** Se realizarán pruebas con niños con diferentes discapacidades, así como su edad y género, para asegurar y verificar que el sistema sea lo suficientemente accesible para cualquier niño.
3. **Análisis de las interacciones con el sistema:** Se analizarán las interacciones de los niños con el sistema y el entorno virtual durante las pruebas, permitiendo identificar patrones de comportamiento y posibles áreas de confusión que puedan tener y que afecten los resultados.

Basado en lo anterior, el proceso para las pruebas se realizó con cuatro niños del instituto, esto previamente solicitado y aprobado tanto por el director del instituto como por los responsables de los niños. Cada uno de los niños contaba con una discapacidad diferente, esto por como se menciona en el ítem 2, permitió una diversidad a la hora de probar el proyecto.

Adicional a esto, se contó con dos expertos dentro de la sala de pruebas, incluyendo al director del instituto para supervisar y colaborar en las pruebas con los niños. Así mismo, se le pidió a uno de los expertos que probaran el proyecto para que nos diesen el visto bueno y empezar a traer a cada uno de los niños.

A cada niño se le daba el contexto de la prueba iniciando con preguntas acerca del mono tití y qué recordaba acerca de este, una vez el niño nos respondía, le contábamos cuál iba a ser el recorrido y qué se iba a realizar dentro del mundo virtual haciendo énfasis en que la experiencia principal era percibir los olores, de modo que se le presentaba cada uno de los tres olores producidos por el dispositivo y se les enseñaba respecto a ellos antes de iniciar la experiencia inmersiva.

7.3. Resultados

A continuación se describe de manera detallada la experiencia de cada uno de los niños, indicando también su edad, género, grado escolar y tipo de discapacidad sensorial.

- **usuario 1:** 7 años, niña, primer grado, baja audición.

La primera niña fue la única a la cual no se le presentó los olores previa a la experiencia. Mientras exploraba el mundo, se le preguntó qué tipo de olores percibía y de qué manera los percibía, los cuales no podía describir específicamente dado a que no tenía una referencia previa. Sin embargo, nos indicó que sí percibía un cambio en los olores a medida que se exponía a ellos en el mundo.

Basado en la experiencia con la niña 1, y cumpliendo con el ítem 3 de pruebas, fue a partir de este punto que se empezó a entrenar a los niños respecto a los olores previamente a la experiencia inmersiva.

- **usuario 2:** 7 años, niño, grado primero, baja visión,

Para el niño 2 le presentamos los tres olores con sus respectivos nombres. Luego, le pedimos que con los ojos cerrados intentara identificar los olores a medida que los íbamos cambiando en el dispositivo olfativo, logrando identificar los tres de manera exitosa en el primer intento. Posteriormente, entró a la experiencia virtual. A pesar de su baja visión, el niño fue capaz de identificar los objetos en el ambiente, esto, gracias a la diferencia de colores y contrastes, como por ejemplo, el bosque verde, el tomatillo rojo, y el color blanco característico del mono tití.

Dentro del ambiente logró identificar dos de los olores completamente (el del bosque y el del mono) y solo por un breve instante, el tomatillo. Esto se debió a que la esencia del tomate era mucho más suave que las demás, lo que hacía que las esencias del bosque y del mono primaran al momento de mezclarse. El niño adicional a esto logró escuchar el sonido del mono tití a medida que se acercaba a este.

- **usuario 3:** 5 años, niña, primer grado, ciega.

Así mismo para la niña 3, se le enseñó y entrenó con los olores, contestándolos e identificándolos correctamente en el segundo intento antes de ingresar al mundo virtual. Una vez dentro, se le iba narrando y describiendo que ocurría en el mundo a medida que caminaba por este. Con asistencia, hicimos el ejercicio de recoger el tomatillo y dárselo al mono tití. De igual manera, como con el niño 2, los olores que más prevalecieron fueron el del bosque y el del mono. Durante la experiencia se le preguntó a la niña que olores iba percibiendo, expresándonos que percibió el olor del bosque y finalmente cuando se acercó al mono, notó, casi de manera inmediata, su fuerte olor.

- **usuario 4:** 6 años, niña, primer grado, sin discapacidad.

Para la niña 4, se le enseñó y entrenó con los olores, contestándolos e identificándolos correctamente en el segundo intento antes de ingresar al mundo virtual. Cuando se le preguntó sobre los olores que percibía, confundió algunos de los nombres de las esencias, respondiendo con un nombre de olor diferente al que se estaba exponiendo en ese momento. Esto pudo haber sucedido, probablemente, al no recordar la clasificación de los olores luego de ingresar al ambiente y debido a los nervios o timidez de la niña, puesto que contestaba muy poco a las preguntas. Sin embargo, al acercarse al mono tití logró identificar su olor correctamente.

Cabe resaltar que, respecto al aspecto visual del entorno virtual, todos los niños expresaron gusto, diciendo que visualmente había quedado agradable o bonito, en especial la característica agregada del río y el modelo del mono tití.

7.3.1. Análisis de los resultados y de la experiencia

Basado en los resultados anteriores, se logró entender que las pruebas y experiencias varían dependiendo de la capacidad de los niños en recordar y familiarizarse con los olores inicialmente. Así mismo, el estado de ánimo o interés del niño con la experiencia, pues en el caso del niño 1 y 4, notamos timidez a lo largo de la experiencia y a la hora de responder a las preguntas. En contraste con los niños 2 y 3, que estaban más abiertos a ellas.

Podríamos, por lo tanto, presentar como una mejora para la experiencia el hacer la introducción al contexto y la memorización de los olores de una manera más lúdica y de mayor tiempo, de modo que esta sea más atractiva para los niños y genere una mayor comodidad y confianza al momento de la experiencia.

Finalmente, se logró observar que los niños de baja visión percibieron los olores en mejor manera, lo que nos indica una mayor sensibilidad a estos.

7.3.2. Retroalimentación dada por el instituto para niños ciegos y sordos del Valle del Cauca

Los dos profesionales presentes durante las pruebas consideran que el proyecto puede estimular el sistema olfatorio y favorecer diferentes procesos cognitivos como la atención y las funciones ejecutivas. Así mismo, de acuerdo con su opinión, la aplicación tiene el potencial de favorecer la estimulación sensorial y los procesos de aprendizajes.

Adicionalmente, como áreas de mejora, consideran pertinentes algunos ajustes en la aplicación a los siguientes puntos:

- El camino a recorrer por los niños en el ambiente es demasiado largo.
- El volumen de los sonidos puede ser mayor, especialmente, el del mono tití al acercarse a este.

- La esencia del tomatillo es demasiado suave, por lo que podría ser remplazada por una más fuerte.

También, expresaron que con el estado actual de la aplicación no sería posible para un niño con discapacidad visual poder usarla sin una ayuda continua o por sí solo. Sugieren que la posición del dispositivo olfativo Cilia sea coherente con la posición a la que el niño está mirando, de modo que el dispositivo olfativo no tenga que ser movido junto con los movimientos del niño. Una posible solución a esto, por consiguiente, es modificar el modo de navegación en el entorno, haciendo que la rotación de la cabeza se asocie con la rotación y dirección en el mundo virtual, de modo que siempre se esté mirando al frente y por ende, al dispositivo olfativo. Finalmente, recomiendan explicar de una manera menos compleja y en lenguaje mucho más simple, la experiencia y el reto a realizar por los niños.

Las siguientes figuras muestran imágenes de la prueba realizada con los niños el día 23 de octubre del 2023.



Figura 7.3.2.1

La **Figura 7.3.2.1** muestra a la niña 1. En esta se puede ver, que se necesitó mover el dispositivo olfativo respecto a su posición, lo cual es algo expresado a mejorar en la retroalimentación dada por los expertos del instituto.



Figura 7.3.2.2

La **Figura 7.3.2.2** muestra al niño 2, enseñándole las esencias para su respectiva clasificación antes de iniciar la experiencia inmersiva.



Figura 7.3.2.3

La **Figura 7.3.2.3** muestra al niño 2, viviendo la experiencia inmersiva después de habersele enseñado acerca de las esencias, como se mostró en la **Figura 7.3.2.2**

Conclusiones y Trabajo Futuro

8.1. Conclusiones

A lo largo del proyecto y en todo su desarrollo se logró abordar de manera adecuada el problema planteado inicialmente, mejorar la educación para niños que cuenten con alguna discapacidad visual o auditiva a través del estímulo olfativo en un ambiente de realidad virtual orientado al mono tití. Para lograr el cumplimiento de cada uno de los objetivos del problema, se partió de un análisis e investigación detallada tanto del problema como del contexto en el que este se encuentra, permitiendo así, el diseño e implementación de una solución potencial que mejore el proceso cognitivo de los niños.

Los resultados obtenidos a partir de las pruebas realizadas en el instituto demuestran que los niños tuvieron una reacción positiva ante el uso de estímulos olfativos junto con los demás estímulos sensoriales en un mundo virtual, así mismo la aprobación por parte de los expertos, permite ver tal logro como una aplicación potencial que favorece la estimulación multisensorial y los procesos de aprendizaje.

No obstante, cabe resaltar que los resultados y logros realizados, estuvieron acompañados de diferentes retos a lo largo del proyecto, desde el correcto entendimiento del funcionamiento e integración del dispositivo Cilia Developer Kit con la herramienta Unity hasta el diseño adecuado del entorno virtual. Tales retos se lograron sobrellevar con una extensa investigación de las tecnologías así como la aplicación de diferentes conocimientos y habilidades adquiridas durante la etapa educativa.

Finalmente, el haber tenido la oportunidad de trabajar en este proyecto brinda una mayor comprensión y entendimiento acerca del impacto y potencial que puede llegar a tener el uso de estas tecnologías en el desarrollo de vida de las personas sensorialmente diversas, especialmente en los niños, y cómo mediante ellas lograr aportes sustanciales para mejorar sus oportunidades al desenvolverse en el mundo sin arduas limitaciones.

8.2. Trabajo futuro

Los objetivos planteados para el proyecto se lograron con éxito, sin embargo, a partir de los resultados de las pruebas, así como la retroalimentación por parte del instituto y conclusiones propias, se pueden tener en cuenta algunos aspectos a cambiar o mejorar en cuanto a las funcionalidades existentes, así como la posibilidad de implementar nuevas funcionalidades a futuro que hagan el proyecto más completo y finalmente aprovechable y aplicable por el instituto. Dentro de las posibles mejoras para el proyecto se tiene:

1. Exportar la aplicación como un archivo ejecutable, aportando facilidad en el uso del sistema haciendo que no sea necesario para el usuario abrir la herramienta Unity y ejecutar el proyecto desde allí.
2. Agregar diversidad de sonidos al ambiente de manera que lo haga más inmersivo, como lo es el sonido del río fluyendo, aves y un sonido del mono tití más claro y de mayor volumen.
3. Modificar la forma de navegación en el mundo virtual, de modo que la posición del dispositivo olfativo pueda estar siempre fija y que sea la cabeza del usuario la que se dirija siempre al dispositivo. Con esto se busca una mayor comodidad al usar la aplicación y una mayor experiencia sensorial.
4. Indagar y probar nuevas esencias que se adecuen mejor a los objetos a representar en el ambiente virtual y que sean lo más consistentes posibles con su esencia en el mundo real.
5. Buscar una manera de que la navegación en el entorno sea compatible y accesible para usuarios o niños con ceguera total. Una posible solución es un sistema de ecolocalización.
6. Reducir el tamaño del entorno virtual, haciendo el recorrido menos largo y más interactivo para el niño.
7. Agregar más animaciones a los monos del entorno haciendo la experiencia visual más natural.

Bibliografía

- [1] D. Levis, “¿Qué es la realidad virtual?”, Academia.edu.,2006, pp. 3-4.
- [2] PORTAFOLIO (2020, Sep 23).“500.000 personas en Colombia con discapacidad auditiva” [Online]. Disponible en: <https://www.portafolio.co/mas-contenido/500-000-personas-en-colombia-con-discapacidad-auditiva-545068>
- [3] (2021, Dic 31), Edición Número 325, “Logros del INCI por la inclusión de los colombianos con discapacidad visual en el 2021”. Disponible en: <https://www.inci.gov.co/blog/logros-del-incipor-la-inclusion-de-los-colombianos-con-discapacidad-visual-en-el-2021>
- [4] Y. Chen,“Olfactory Display: Development and Application in Virtual Reality Therapy” 16th International Conference on Artificial Reality and Telexistence–Workshops (ICAT’06), Hangzhou, China, 2006, pp. 580-584, doi: 10.1109/ICAT.2006.95.
- [5] S. Kato, M. Lseki and T. Nakamoto, “Demonstration of Olfactory Display Based on Sniffing Action,” 2018 IEEE Conference on Virtual Reality and 3D User Interfaces (VR), Tuebingen/Reutlingen, Germany, 2018, pp. 761-762, doi: 10.1109/VR.2018.8445841.
- [6] D. Narciso, M. Bessa, M. Melo and J. Vasconcelos-Raposo,“Virtual Reality for training - The impact of smell on presence, cybersickness, fatigue, stress and knowledge transfer”, 2019 International Conference on Graphics and Interaction (ICGI), Faro, Portugal, 2019, pp. 115-121, doi: 10.1109/ICGI47575.2019.8955071.
- [7] Molero C, G; Benítez G, E; Mezura G, Carmen (2017) “Interacción humano computadora y minería de datos para la generación y representación de conocimiento útil”
- [8] What are olfactory interfaces? - definition from Techopedia, Techopedia.com. Disponible en: <https://www.techopedia.com/definition/30771/olfactory-interfaces#techopedia-explains-olfactory-interfaces>.
- [9] Diario Oficial 44889 de agosto 5 de 2002, Definición de Discapacidad, Ley 762 de 2002 Constitución de Colombia 1991 (vigente).
- [10] La discapacidad Visual Ysb (2021) Web de la ONCE. Disponible en: <https://www.once.es/dejanos-ayudarte/la-discapacidad-visual>
- [11] Sordera y Pérdida de la Audición, World Health Organization. Disponible en: <https://www.who.int/es/health-topics/hearing-loss>.

[12] Proyecto, Conservancy, P.N.E.P. and Center, P.N.P. research (2020) Mono Tití Cabeciblanco, National Geographic. Disponible en:

<https://www.nationalgeographicla.com/animales/2020/04/mono-titi>

[13] You-Yang Hu, Yao-Fu Jan, Kuan-Wei Tseng, You-Shin Tsai, Hung-Ming Sung, Jin-Yao Lin, and Yi-Ping Hung. 2021. ABio: Active Bi-Olfactory Display Using Subwoofers for Virtual Reality. In Proceedings of the 29th ACM International Conference on Multimedia (MM '21). Association for Computing Machinery, New York, NY, USA, 2065 -2073. <https://doi.org/10.1145/3474085.3475678>

[14] Marcelo de Paiva Guimarães, James Miranda Martins, Diego Roberto Colombo Dias, Rita de Fátima Rodrigues Guimarães, and Bruno Barberi Gnecco. 2022. An olfactory display for virtual reality glasses. *Multimedia Syst.* 28, 5 (Oct 2022), 1573 - 1583. <https://doi.org/10.1007/s00530-022-00908-8>

[15] Jieun Lee, Seokhyun Hwang, Kyunghwan Kim, and SeungJun Kim. 2022. Auditory and Olfactory Stimuli-Based Attractors to Induce Reorientation in Virtual Reality Forward Redirected Walking. In Extended Abstracts of the 2022 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI EA '22). Association for Computing Machinery, New York, NY, USA, Article 446, 1 - 7. <https://doi.org/10.1145/3491101.3519719>

[16] K. Schwaber and J. Sutherland, “La Guía de scrum - scrum guides,” scrumguides.org. Disponible:

<https://scrumguides.org/docs/scrumguide/v2020/2020-Scrum-Guide-Spanish-Latin-South-American.pdf> (accessed Nov. 1, 2023).

[17] “Requerimientos Funcionales vs no funcionales,” Visure Solutions. Disponible: <https://visuresolutions.com/es/requirements-management-traceability-guide/functional-vs-non-functional-requirements/> (accessed Nov. 12, 2023).

[18] My.games, “Explaining (and making the leap) to ECS in Unity,” Medium. Disponible: <https://medium.com/my-games-company/explaining-and-making-the-leap-to-ecs-in-unity-b6d786464d72> (accessed Nov. 12, 2023).

[19] “Diagrama de Clases. Teoría y ejemplos.”, DiagramasUML.com. Disponible: <https://diagramasuml.com/diagrama-de-clases/> (accessed Dec. 20, 2023).

[20] “Qué es un diagrama de flujo,” Lucidchart. Disponible: <https://www.lucidchart.com/pages/es/que-es-un-diagrama-de-flujo> (accessed Dec. 17, 2023).

[21] Plarium, “Qué es un npc o 'personaje no jugador'? - plarium,” plarium.com. Disponible:

<https://plarium.com/es/blog/npc-non-player-character/> (accessed Dec. 21, 2023).

[22] “Rigging en animación”, Unity. Disponible: <https://unity.com/es/solutions/rigging-animation> (accessed Dec. 25, 2023).

[23] “2021.3.23F1”, Unity. Disponible: <https://unity.com/releases/editor/whats-new/2021.3.23> (accessed Dec. 25, 2023).

[24] “Tití cabeciblanco (Saguinus Oedipus)”, NaturaLista Colombia. Disponible: <https://colombia.inaturalist.org/taxa/43391-Saguinus-oedipus> (accessed Dec. 27, 2023).

[25] Naturaleza en videos- BioSandra, “Titi Cabeza de Algodón (Saguinus Oedipus) - santiago de tolú, Sucre,” YouTube. Disponible: <https://www.youtube.com/watch?v=APg3FU2N26k> (accessed Ago. 29, 2023).

[26] CORPONOR, “Hábitat - Mono tití” YouTube. Disponible: <https://www.youtube.com/watch?v=XexpWdBZZkc> (accessed Ago. 29, 2023).

[27] A. Schrote, “Rendering pipeline in Unity,” Medium. Disponible: <https://medium.com/shader-coding-in-unity-from-a-to-z> (accessed Sep. 15, 2023).

[28] M. Rouse, “What is rendering? - definition from Techopedia,” Techopedia. Disponible: <https://www.techopedia.com/definition/9163/rendering> (accessed Sep. 16, 2023).

[29] U. Technologies, “Materiales, shaders Y Texturas,” Unity Manual. Disponible: <https://docs.unity3d.com/es/2018.4/Manual/Shader.html> (accessed Sep. 19, 2023).

[30] M. L. Aceituno, “Imágenes de Mapas de Bits”, Universidad Nacional de Quilmes. Disponible: https://libros.uvq.edu.ar/spm/242_imgenes_de_mapas_de_bits.html (accessed Sep. 19, 2023).

[31] Bitgem “Unity URP stylized water shader,” YouTube. Disponible: <https://www.youtube.com/watch?v=fHuN7WkrmsI> (accessed Sep. 25, 2023).

[32] U. Technologies, “Render pipelines,” Unity Manual. Disponible: <https://docs.unity3d.com/Manual/render-pipelines.html> (accessed Sep. 25, 2023).