

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. Hernan Camilo Rocha Niño
Decano de la Facultad de Ingeniería

ING. GERARDO MAURICIO SARRIA
Director Carrera Ingeniería Sistemas y Computación.

ING. Andrés Adolfo Navarro Newball
Director(a) Trabajo

ING. Gerardo Mauricio Sarria

Jurado 1

ING. Juan Pablo García Cifuentes

Jurado 2



Acta de Correcciones al Proyecto de Grado Ingeniería y Ciencias

Fecha: 12/11/2023

Autores: Juan Esteban Floyd Jimenez y Juan David Aycardi Ariza

**Nombre del Proyecto de Grado: Sistema Prototipo de Sensaciones
Hápticas para el Aprendizaje Vivencial
sobre el Mono Titi**

Director:

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

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

Sistema Prototipo de Sensaciones Hápticas para el Aprendizaje Vivencial sobre el Mono Tití

Juan Esteban Floyd Jiménez
Juan David Aycardi Ariza

Director: Dr. Andrés Adolfo Navarro Newball

10 de diciembre de 2023



Pontificia Universidad
JAVERIANA
Cali

Señores

Pontificia Universidad Javeriana Cali.

Dr. Gerardo Mauricio Sarria Montemiranda

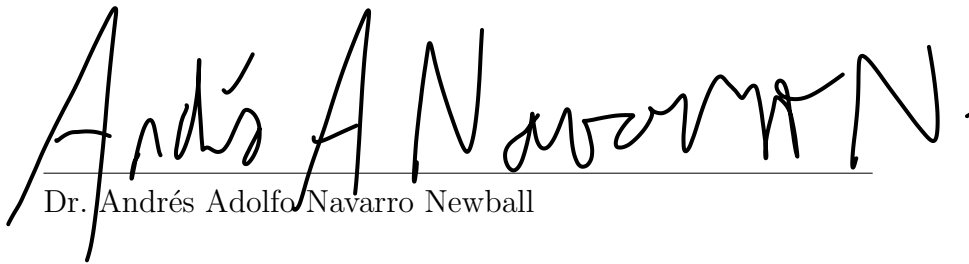
Director Carrera de Ingeniería de Sistemas y Computación.

Cali.

Cordial Saludo.

Por medio de la presente me permito informarle que los estudiantes de Ingeniería de Sistemas, Juan Esteban Floyd Jiménez (cod: 8943655) y Juan David Aycardi Ariza (cod:8943665), trabajaron bajo mi dirección, en el proyecto de grado titulado “Sistema Prototipo de Sensaciones Hápticas para el Aprendizaje Vivencial sobre el Mono Tití”.

Atentamente,



Dr. Andrés Adolfo Navarro Newball

Señores

Pontificia Universidad Javeriana Cali.

Dr. Gerardo Mauricio Sarria Montemiranda

Director Carrera de Ingeniería de Sistemas y Computación.

Cali.

Cordial Saludo.

Me permito presentar a su consideración el trabajo de grado titulado “Sistema Prototipo de Sensaciones Hápticas para el Aprendizaje Vivencial sobre el Mono Tití” con el fin de cumplir con los requisitos exigidos por la universidad para optar el título de Ingeniero de Sistemas.

Al firmar aquí, doy fe que entiendo y conozco 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,

JUANEFLOYD

Juan Esteban Floyd Jiménez

Código: 8943655



Juan David Aycardi Ariza

Código: 8943665

Abstract

Colombia has several limitations when it comes to environmental education, since the vast majority of people don't know in depth about the importance of native species, especially those species on the verge of extinction due to the low visibility that this problem has today. Additionally, the limited environmental education available is not particularly inclusive, so people with sensory diversity do not have the opportunity to learn correctly with traditional teaching models about related topics. In this way, the proposed project explores how to integrate an interface based on a haptic vest to a virtual environment where the cotton top tamarin is found in its habitat. The aim is to provide the sensation that a cotton top tamarin is climbing over the person's body in order to analyze the effects and interactions that a haptic interface causes in the understanding of the virtual environment and its components by physical means other than common ones, mainly in the children of the Institute for Blind and Deaf Children.

Key Words: Virtual reality, Sensory Disability, Haptic Interface, Vest, Cotton Top Tamarin, Habitat.

Resumen

Colombia tiene varias limitaciones en lo referente a la educación ambiental, ya que la gran mayoría de personas no conocen en profundidad acerca de la importancia de las especies nativas, en especial aquellas especies en vía de extinción debido a la poca visibilidad que tiene esta problemática en la actualidad. Adicionalmente, la escasa educación ambiental que se tiene disponible no es particularmente inclusiva, por lo que personas con diversidad sensorial no tienen la oportunidad de aprender correctamente con los modelos de enseñanza tradicional acerca de las temáticas relacionadas. De esta manera, el proyecto propuesto explora la forma de integrar una interfaz basada en un chaleco háptico a un entorno virtual donde se encuentra el mono tití en su hábitat. Se busca brindar la sensación de que un mono tití esté trepando por el cuerpo de la persona con el fin de analizar los efectos y las interacciones que provoca una interfaz háptica en la comprensión del entorno virtual y sus componentes por medios físicos distintos a los comunes, principalmente en los niños del Instituto para Niños Ciegos y Sordos.

Palabras Clave: Realidad virtual, Discapacidad Sensorial, Interfaz Háptica, Chaleco, Mono tití, Hábitat.

Índice general

| | |
|---|-----------|
| 1. Introducción | 7 |
| 2. Descripción del Problema | 8 |
| 2.1. Planteamiento del Problema | 8 |
| 2.1.1. Formulación | 9 |
| 2.1.2. Sistematización | 9 |
| 2.2. Objetivos | 10 |
| 2.2.1. Objetivo General | 10 |
| 2.2.2. Objetivos Específicos | 10 |
| 2.3. Justificación | 11 |
| 2.4. Delimitaciones y Alcances | 11 |
| 2.4.1. Entregables | 12 |
| 3. Marco Teórico y Trabajos Relacionados | 13 |
| 3.0.1. Áreas Temáticas | 13 |
| 3.0.2. Marco Teórico | 13 |
| 3.0.3. Trabajos Relacionados | 15 |
| 4. Metodología, Análisis y Diseño | 25 |
| 4.1. Metodología | 25 |
| 4.1.1. Metodología SCRUM | 26 |
| 4.1.2. Equipo en SCRUM | 27 |
| 4.1.3. Etapas de SCRUM | 27 |
| 4.1.4. SCRUM aplicado a este proyecto | 28 |
| 4.1.5. Tipo de Estudio | 30 |
| 4.2. Análisis | 31 |
| 4.2.1. Sensaciones y su relación con el ambiente | 31 |
| 4.2.2. Condiciones de baja capacidad visual | 32 |
| 4.2.3. Levantamiento de requisitos para este proyecto | 32 |
| 4.2.4. Diagrama de casos de uso | 38 |
| 4.3. Diseño | 39 |

| | |
|--|-----------|
| 4.3.1. Arquitectura del sistema | 39 |
| 4.3.2. Diagrama de clases | 41 |
| 4.3.3. Diagrama de flujo | 43 |
| 4.3.4. Máquina de estados finitos | 45 |
| 5. Implementación | 46 |
| 5.1. Dispositivos de desarrollo | 46 |
| 5.2. Herramientas de desarrollo | 48 |
| 5.2.1. Blender | 48 |
| 5.2.2. Unity | 50 |
| 5.2.3. Bhaptics Developer | 53 |
| 5.2.4. Meta Quest 2 | 54 |
| 5.2.5. Integración Final | 55 |
| 5.3. Sensaciones de caminata de un mono tití percibidas mediante el chaleco bHaptics | 56 |
| 5.4. Solución aplicada al aprendizaje vivencial mediante una interfaz háptica | 56 |
| 5.5. Audios en Unity | 57 |
| 5.6. Exposición sobre el mono tití | 57 |
| 6. Validación del Sistema y Resultados | 58 |
| 6.1. Plan de pruebas del sistema | 59 |
| 6.2. Pruebas funcionales: | 60 |
| 6.3. Pruebas no funcionales: | 62 |
| 6.4. Pruebas con Usuarios | 63 |
| 6.4.1. Comentarios del Instituto Para Niños Ciegos y Sordos del Valle del Cauca | 70 |
| 6.4.2. Sugerencias del Instituto Para Niños Ciegos y Sordos del Valle del Cauca | 70 |
| 6.4.3. Análisis de las Pruebas con Usuarios. | 71 |
| 7. Conclusiones y Trabajo Futuro | 72 |
| 7.1. Conclusiones | 72 |
| 7.2. Trabajo futuro | 73 |

Capítulo 1

Introducción

El mono tití es un animal emblemático de Colombia que se encuentra en vía de extinción debido a diferentes factores como: la deforestación de su hábitat natural, la cacería desmesurada de este mismo para su adquisición como mascota y para experimentos médicos. Debido a la poca visibilidad que tiene la problemática de especies en vía de extinción en Colombia, no se ha logrado un cambio significativo en la educación que las personas deberían tener sobre esta, principalmente niños y adolescentes en formación.

Además, Colombia tiene evidentes limitaciones y falencias en lo referente a la educación ambiental, ya que las personas no conocen lo suficiente sobre la importancia de las especies nativas. Adicionalmente, la educación ambiental que se dispone no es inclusiva, por lo que personas con diversidad sensorial no tienen la oportunidad ni los medios para aprender correctamente con los modelos de enseñanza tradicional sobre temáticas relacionadas con el medioambiente y la preservación de sus especies.

De esta manera, el proyecto propuesto buscó explorar la integración de una interfaz háptica basada en un chaleco a un entorno virtual donde se encontraba el mono tití en su hábitat, teniendo algunas interacciones físicas simuladas con él. Es entonces que la finalidad de este proyecto fue presentar una propuesta que intenta solventar de una pequeña pero importante manera la educación ambiental inclusiva a través de herramientas tecnológicas y estrategias elaboradas de enseñanza y aprendizaje.

Capítulo 2

Descripción del Problema

2.1. Planteamiento del Problema

Colombia hace parte del denominado grupo de países megadiversos, esto quiere decir que alberga uno de los mayores índices de biodiversidad del planeta tierra [1]. Colombia cuenta con diferentes ecosistemas y climas que permiten que muchas especies habiten diversas zonas boscosas. Se pueden ver las siguientes especies: 54.871 especies registradas, con 3.625 especies exclusivas, 66 aves, 1.500 plantas, 367 anfibios endémicos (únicos en Colombia), 115 reptiles, 34 mamíferos y 1543 orquídeas, con 7.432 especies de vertebrados: 479 mamíferos, 1889 aves, 571 reptiles, 803 anfibios, 2.000 peces marinos, 1533 peces dulceacuícolas y 197 aves migratorias, se tienen 30.436 especies de plantas, 32 biomas terrestres y 314 tipos de ecosistemas, los de páramo representan aproximadamente el 1,7 del territorio colombiano que aportan agua al 70 % de la población [2]. En las zonas boscosas habita el mono tití, más específicamente en el noroeste del país. Este se encuentra en grave peligro de extinción debido a que se exportaron entre 20000 y 40000 desde Colombia hacia Estados Unidos para ser utilizados en la investigación médica y adicionalmente los restantes permanecen en zoológicos, universidades, santuarios privados y en organizaciones privadas [3]. A estas causas se les adiciona la deforestación de los bosques tropicales, agricultura, minería, etc. Por último, el tráfico ilegal de estos para comercializar como mascotas.

Por otra parte, en Colombia hay más de 3 millones de personas que cuentan con algún tipo de discapacidad. Esto lleva consigo un problema en la educación que se puede brindar acerca del mono tití, y en general sobre cualquier especie en vía de extinción, debido a que la inclusividad no es considerada en el diseño de herramientas y estrategias de enseñanza y las personas con diversidad sensorial no aprenden de la forma tradicional debido a sus limitaciones.

Teniendo en cuenta lo anteriormente dicho, se debe promover la educación ambiental inclusiva, es decir, que considere a las personas con capacidades diversas, sensorialmente hablando. Según el artículo “Experiences on haptic interfaces for visually impaired young children” [4] hay evidencia de que las interfaces hápticas ayudan a la recuperación en tratamientos de personas con limitaciones visuales. Esto indica que la realidad virtual y la realidad extendida ayudan a la comprensión y al aprendizaje de personas con limitaciones sensoriales.

2.1.1. Formulación

¿Cómo integrar una interfaz háptica basada en un chaleco a un entorno virtual del mono tití para favorecer su comprensión en personas con diversidad sensorial?

2.1.2. Sistematización

1. ¿Qué elementos de un entorno virtual que incluya al mono tití simulado son susceptibles de ser percibidos a través de una interfaz háptica?
2. ¿Cómo diseñar un sistema que permita la inclusión de una interfaz háptica a un entorno virtual?
3. ¿Cómo implementar el diseño de un sistema que integra el mundo virtual del mono tití con una interfaz háptica?
4. ¿Cómo validar el sistema implementado con usuarios sensorialmente diversos?

2.2. Objetivos

2.2.1. Objetivo General

Integrar una interfaz háptica basada en un chaleco a un entorno virtual del mono tití para favorecer la comprensión de este mismo.

2.2.2. Objetivos Específicos

- Identificar los elementos que generan una interacción con el mono tití en el entorno virtual y que se pueden percibir a través de una interfaz háptica.
- Diseñar de un sistema que permita la inclusión de una interfaz háptica y el entorno virtual simulado del mono tití.
- Implementar el diseño para que tanto el mundo virtual como la interfaz trabajen en conjunto para permitir las sensaciones esperadas a través del chaleco háptico.
- Validar usabilidad del sistema con los pacientes del Instituto para Niños Ciegos y Sordos.

2.3. Justificación

La educación ambiental en Colombia debe ser un tema de absoluta importancia y con mucho campo por trabajar. Los colombianos deben ser educados promoviendo la cultura de cuidar el entorno y comprendiendo su importancia, por lo que la inclusión de estas temáticas en la educación de personas jóvenes es crucial. Adicionalmente, la educación ambiental que hay en la actualidad no es particularmente inclusiva; es decir, no abarca a la totalidad de la población y las personas; en especial a aquellas con diversidad sensorial. Por otra parte, especies como el mono tití están perdiendo su hábitat natural y son víctimas de la deforestación y la exportación, razón por la cual se encuentra en peligro de extinción. Es por esto que mediante este proyecto se plantea una forma para hacer la educación ambiental más inclusiva. De esta manera, a través del uso de interfaces hápticas y un entorno virtual que simula al mono tití se enseñará a personas con diversidad sensorial sobre el mismo de una forma vivencial. Se busca disminuir la brecha en la educación ambiental para generar conciencia sobre el mono tití sin tener un contacto directo con esta especie, lo cual es beneficioso para preservar tanto al animal como a su hábitat. El proyecto propuesto es parte del Proyecto Colaborativo Colombia – Quebec: narrativas, educación y realidad virtual del grupo Destino.

2.4. Delimitaciones y Alcances

En esta propuesta de trabajo de grado se definen los siguientes alcances:

1. Utilizar y modificar una aplicación existente, realizada en el marco del Proyecto Colaborativo Colombia - Quebec.
2. La aplicación que se tomará como punto de partida funciona en el dispositivo Meta Quest.
3. Se integrará el módulo háptico a la aplicación con la integración de un chaleco bhaptics.
4. El desarrollo se enfocará en la percepción de los monos titís suben al cuerpo del usuario. Se espera que se simule como al menos uno de esos monos sube por el cuerpo.
5. Las sensaciones dadas por el chaleco háptico serán simuladas por un modelo tridimensional del mono tití.

6. La enseñanza que se espera lograr será completamente empírica y vivencial para los niños.

2.4.1. Entregables

Al finalizar el proyecto se realizará entrega de lo siguiente:

- Documento de trabajo de grado con el diseño y planificación del sistema de sensaciones hápticas, y también un registro de lo que se realizó dentro de los alcances y limitaciones que se plantearon junto con los problemas surgidos durante el desarrollo.
- Prototipo funcional del sistema de sensaciones hápticas con realidad aumentada.

Capítulo 3

Marco Teórico y Trabajos Relacionados

3.0.1. Áreas Temáticas

Según el sistema de clasificación de la ACM, las áreas de las ciencias de la computación que abarcan este proyecto son las siguientes:

- Social and Professional topics - User characteristics - People with disabilities.
- Computing Classification System – Human centered computing – Human computer interaction – Interaction devices – Haptic devices.
- Computing Classification System – Human centered computing – Accessibility – Accessibility technologies.
- Computing Classification System - Computing methodologies - Computer graphics - Graphics systems and interfaces.

3.0.2. Marco Teórico

La investigación que se ha llevado a cabo para este proyecto evidencia que la realidad virtual y en general la realidad extendida ayudan a diversas áreas de investigación como la educación y la medicina gracias a la capacidad que estas herramientas tienen de emular de manera muy precisa los elementos del mundo real mediante motores gráficos, interfaces, etc. Para este proyecto se van a utilizar interfaces hápticas para educar a personas con diversidad sensorial sobre el mono tití y la importancia de su preservación. De esta manera,

es necesario definir varios conceptos básicos como lo son: realidad virtual, interfaz háptica, discapacidades sensoriales, mono tití, hábitat y causas de su estado en peligro de extinción.

Realidad Virtual

Definición: La realidad virtual es la creación de un entorno o escenario ficticio que emula con un alto nivel de realismo algún ente del mundo real. Ayuda a adquirir una experiencia que sumerge al usuario en una ilusión de estar dentro de un entorno a través de diferentes dispositivos que pueden ayudar a obtener este nivel de realismo y de inmersión. Todo esto se logra desde algún espacio que es cómodo para el usuario. [5]

Malla

Definición: Malla es un objeto 3D que esta puesto en una escena de Unity o Blender. [6]

Interfaz Háptica:

Definición: Las interfaces hápticas son los dispositivos que permiten a los usuarios simular o emular diferentes sensaciones físicas, como por ejemplo, tocar, sentir o manipular diferentes objetos en entornos virtuales. Estas sensaciones logran que con vibraciones y acciones físicas del usuario se obtenga alguna reacción del sentido del tacto. [7]

Discapacidad Sensorial:

Definición: Discapacidad que afecta al correcto funcionamiento de uno o diferentes sentidos del ser humano. Entre estas están discapacidad visual, discapacidad auditiva, etc. [8]

Discapacidad visual: Una discapacidad visual es aquella en donde existe una disminución significativa del campo visual. [9] Entre las discapacidades visuales más comunes en el mundo están [10]:

- **Daltonismo o discromatopsia:** Se presencia deficiencia en la percepción de colores.
- **Miopía:** La luz se enfoca delante de la retina en vez de hacerse sobre ella (que es como debería ser), esta provoca que los objetos lejanos se vean borrosos.

- **Hipermetropía:** Los objetos distantes se ven con mayor claridad que los elementos cercanos.
- **Astigmatismo:** Visión desenfocada a cualquier distancia. El ojo no enfoca la luz de la forma pareja sobre la retina.
- **Glaucoma:** Daño sobre el nervio óptico.

Dispacidad Auditiva:

Definición: Esta se da cuando hay un daño en el oído interno. Se dañan los nervios que conducen en sonido hasta el cerebro. Las diferentes discapacidades auditivas que hay varían entre la intensidad con la cual se percibe el sonido.

Mono tití

Definición: Es una especie de primate platirrino de la familia Callitrichidae, de hábitos diurnos y territoriales, endémicos de los bosques del noreste de Colombia. Aproximadamente del tamaño de una ardilla, los monos tití también tienen pechos y vientres blancos, mientras que sus espaldas y colas están cubiertas de un largo pelaje negro y marrón. Tienen uñas en forma de garra, que son fundamentales para saltar de un árbol a otro en su hábitat forestal. [11]

- **Hábitat:** El mono tití habita en diferentes zonas boscosas y tropicales de Sudamérica, en la copa de los árboles de dichos bosques. El hábitat de estos se encuentra amenazado debido a la deforestación por madera, minería ilegal, entre otras causas. [12]
- **En vía de extinción:** El mono tití se encuentra en grave peligro de extinción debido a que se exportaron entre, 20000 y 40000 ejemplares desde Colombia a Estados Unidos para ser utilizados en la investigación médica y adicionalmente los restantes permanecen en zoológicos, universidades, santuarios privados y en organizaciones privadas. [3]

3.0.3. Trabajos Relacionados

Haptic Feedback Systems in Medical Education [13]

Este artículo trae a discusión algunos de los más relevantes desafíos tecnológicos que involucran los sistemas hápticos en la educación médica. Uno de estos

desafíos es elegir el hardware háptico, la API o el marco adecuado para desarrollar un sistema de aprendizaje electrónico visual y háptico. La decisión se basa en varios criterios, como los recursos multimodales que necesita el sistema de software, compatibilidad con dispositivos hápticos y la configuración dinámica de la escena. Otro desafío está relacionado con el sistema de software reactivo en conjunto con las acciones del usuario. La retroalimentación háptica inmediata de modelos virtuales, junto con la sincronización de las señales hápticas y visuales renderizadas vistas por los usuarios, son esenciales para mejorar la capacidad de aprendizaje del usuario. La simulación visual-háptica facilita los escenarios de entrenamiento precisos, protocolos médicos y procesos quirúrgicos. [13]

Este artículo detalla los campos, en su mayoría médicos y educativos, en los cuales las interfaces hápticas se mezclan con los mismos, por lo que se trata de una investigación afín a este trabajo de grado.

Uno de los desafíos destacados en el artículo es la selección del hardware háptico, las API y los marcos de desarrollo adecuados para la creación de sistemas de eLearning visuo-hápticos. Esta elección se basa en diversos criterios, como la necesidad de recursos multimodales, la compatibilidad con dispositivos hápticos y la configuración dinámica de la escena virtual. Además, el artículo enfatiza la importancia de la retroalimentación háptica inmediata proporcionada por modelos virtuales enriqueciendo la capacidad de aprendizaje del usuario.

En contraste, el proyecto en cuestión tiene como objetivo el uso de las gafas de realidad virtual Meta Quest 2 y el chaleco háptico Bhaptic Vest para proporcionar una experiencia educativa única a niños con discapacidades visuales o auditivas en Colombia. El proyecto se desarrolla en un entorno virtual que simula un bosque habitado por un mono tití. El objetivo principal es permitir que los usuarios interactúen con el mono y sientan su presencia a través de los motores hápticos del chaleco. Esto crea una experiencia táctil inmersiva que facilita la educación sobre animales en peligro de extinción en Colombia.

Si bien tanto el proyecto presentado en este artículo y el proyecto realizado en este trabajo de grado comparten el uso de tecnología háptica y reconocen la importancia de la retroalimentación háptica en la mejora de la experiencia del usuario y el aprendizaje, difieren en sus enfoques y aplicaciones. El artículo aborda consideraciones generales sobre la tecnología háptica en la educación médica, mientras que el proyecto se enfoca en una aplicación específica dirigida a un grupo particular de usuarios y una temática educativa específica en un contexto geográfico definido.

Implementation of 3D visualization applications based on physical-haptics principles to perform rehabilitation tasks [14]

Revisión reciente sobre la aplicación de terapias de rehabilitación basadas en la realidad virtual en pacientes con ictus (enfermedad cerebro vascular que afecta los vasos sanguíneos que suministran sangre al cerebro o trombosis). Se desarrolló un entorno de rehabilitación virtual realista que incluye:

- Motor gráfico de renderizado de alta calidad para entornos 3d realistas.
- Herramientas precisas de simulación física y detecciones de colisiones.
- Retroalimentación de fuerza en el dispositivo háptico sensible phantom omni.

Este trabajo propone un proceso de desarrollo de aplicaciones de visualización 3D basadas en principios físico-hápticos para aumentar los niveles de confianza y realismo en el simulador actual, y mejorar la sensación de inmersión del paciente en el entorno virtual de rehabilitación cuando practica algún ejercicio.

Para mostrar con una apariencia lo más parecida a la realidad se debe usar un mayor número de polígonos, texturas, etc. Esto se hace con OGRE3D (motor de renderizado orientado a escenas). Para el cálculo de elementos que intervienen en la simulación física (colisiones, agarrar objetos, aplicar fuerza sobre ellos) tienen que comportarse lo más parecido a la realidad, para este se usó PhysX (es un kit de desarrollo que se usa para cálculos físicos y complejos, es de Nvidia).

Para que el paciente pueda manipular los elementos con el dispositivo háptico, se debe usar una retroalimentación de fuerza que indique la interacción entre el paciente y el otro objeto virtual Phantom Omni Sensable, OpenHaptics (tecnología de interfaz háptica).

Las aplicaciones desarrolladas son entornos virtuales en donde se proyectan diferentes imágenes generadas por cada una de las tecnologías nombradas anteriormente y gracias a estas mismas, permitir que el usuario pueda interactuar con estas aplicaciones.

Mediante la interacción del usuario con la aplicación se lleva a cabo tareas de rehabilitación. Estas permiten transmitir el sentido del tacto, sensación de los objetos, etc.

La ventaja del proyecto presentado en este artículo es que es una renovación en terapia y demás actividades que realizan para la recuperación de diferentes capacidades físicas y que para cada una de las personas para las que se probó resultó ser beneficiosa.

Las limitaciones del proyecto presentado en este artículo son que, debido al reducido número de usuarios, no se pueden obtener resultados demasiados precisos, ya que depende de personas que tengan enfermedades cerebro vasculares. La semejanza obtenida mediante la propuesta de trabajo de grado nombrada al principio de este documento es que se crea un entorno con cierto nivel de realismo y gracias a este mismo, se tiene una interacción con un medio y se espera una respuesta de este mismo, esta logra mediante las interfaces hápticas.

Ambos proyectos comparten un enfoque en el uso de tecnología avanzada para mejorar la experiencia de rehabilitación de pacientes con condiciones médicas específicas.

En este proyecto, al igual que en el artículo, se busca crear un entorno de rehabilitación virtual que aproveche la realidad virtual y la simulación física para proporcionar una experiencia de rehabilitación más inmersiva y efectiva. Ambos proyectos también utilizan dispositivos hápticos para permitir que los pacientes interactúen con el entorno virtual y realicen ejercicios de rehabilitación de una manera más natural.

Además, tanto el proyecto como el artículo se esfuerzan por lograr un alto grado de realismo en los entornos virtuales, utilizando motores de renderizado avanzados y herramientas de simulación física para crear experiencias lo más cercanas posible a la realidad. Ambos proyectos reconocen la importancia de transmitir sensaciones táctiles y la sensación de los objetos virtuales para mejorar la efectividad de la rehabilitación.

Sin embargo, es importante destacar que, si bien existen similitudes en términos de enfoque y objetivos generales, el proyecto de este artículo puede diferir en detalles específicos, como la población objetivo, los tipos de ejercicios de rehabilitación diseñados y las tecnologías exactas utilizadas. Por lo tanto, aunque ambos proyectos comparten un enfoque general en la aplicación de tecnología avanzada para la rehabilitación, pueden abordar aspectos específicos de manera diferente para adaptarse a sus objetivos y requisitos particulares.

A Quality of Experience Model for Haptic User Interfaces [15]

En este artículo se usa un modelo matemático para medir la calidad de la experiencia de una interfaz háptica de usuario. Este artículo es interesante, ya que gracias a lo beneficioso que resulta usar esta tecnología para diferentes proyectos, se puede medir que tan beneficiosa es el uso de esta tecnología para diferentes proyectos aplicados a diferentes contextos. Para medir la calidad de la experiencia de cada usuario, se tiene en cuenta diferentes factores como, por ejemplo, la calidad del servicio, medidas fisiológicas, medidas de percepción,

medidas de representación, experiencia individual de cada usuario, etc. Para mostrar la eficacia de evaluación de este modelo, se probó con diferentes aplicaciones de interfaz háptica (HUI) las cuales en este modelo son: sistema de aprendizaje háptico y herramientas CASE UML habilitada para háptica. Las aplicaciones HUI nombradas anteriormente consisten en:

- **Sistema de aprendizaje háptico:** el sistema facilita el aprendizaje de escritura alfabética en diferentes lenguajes, esta aplicación usa retroalimentación visual, auditiva y háptica. El funcionamiento de la aplicación es sencillo, contiene todos los caracteres de una lengua determinada, El usuario experimenta la escritura a mano de algún carácter y este recibe la retroalimentación háptica y gráfica sobre la escritura del usuario.
- **Herramientas CASE UML habilitada para háptica:** Esta herramienta CASE UML es diferente a la demás, ya que habilita dispositivos hápticos para proporcionar medios mejores y más intuitivos para los desarrolladores de software UML, hace simulaciones de gravedad para las clases, simulación de fuerzas de colisión cuando las clases chocan y diferentes movimientos para guardar, abrir, nuevo imprimir, etc.

Se pidió a quince sujetos que probaran las aplicaciones anteriores y llenaran un cuestionario al finalizar la experiencia con estas mismas.

Se compararon la puntuación obtenida por los cuestionarios y la puntuación obtenida por el modelo y se puede notar que se obtienen valores muy similares, lo cual me permite tener un modelo confiable para la experiencia de cada usuario con mi aplicación HUI.

Pensando en no solo obtener similitudes con diferentes aplicaciones que hacen uso de las interfaces hápticas, sino también, tener una forma que es probada que funciona para calificar o obtener una respuesta de la experiencia de cada usuario con el trabajo de grado propuesto al inicio y así sabe en qué se debe mejorar y que se está haciendo bien.

El proyecto presentado en este artículo presenta un modelo matemático para evaluar la calidad de la experiencia del usuario en interfaces hápticas y aplicaciones HUI. Se centra en medir factores como la calidad del servicio, medidas fisiológicas, percepción del usuario y representación de datos para evaluar la experiencia individual de cada usuario. Este enfoque permite evaluar qué tan beneficiosa es la tecnología de interfaces hápticas en una variedad de proyectos y contextos.

Comparando este enfoque con el proyecto de este trabajo de grado, que se centra en la creación de un sistema de rehabilitación basado en interfaces

hápticas y realidad virtual para pacientes con ictus, se pueden identificar similitudes y diferencias. Ambos proyectos utilizan interfaces hápticas como parte fundamental de la experiencia del usuario. Sin embargo, el enfoque de este proyecto se orienta específicamente hacia la rehabilitación de pacientes con ictus, mientras que el artículo propone un modelo general para evaluar experiencias en aplicaciones HUI en diferentes contextos.

En el proyecto de rehabilitación, se busca mejorar la inmersión del paciente en un entorno virtual de rehabilitación utilizando tecnologías como motores gráficos de alta calidad y simulaciones físicas precisas. Por otro lado, el artículo se enfoca en la evaluación de la calidad de la experiencia del usuario en aplicaciones HUI, incluyendo un sistema de aprendizaje háptico y herramientas CASE UML habilitadas para la interacción háptica.

Ambos proyectos tienen en común la importancia de la retroalimentación háptica para mejorar la experiencia del usuario. Sin embargo, el proyecto de rehabilitación se centra en la interacción del paciente con un entorno virtual, mientras que el artículo se enfoca en la evaluación de la experiencia de usuario en aplicaciones HUI existentes.

En resumen, el proyecto presentado en este artículo proporciona un modelo de evaluación general para experiencias de usuario en aplicaciones HUI, mientras que este proyecto se centra en la creación de un sistema específico de rehabilitación basado en interfaces hápticas y realidad virtual para pacientes con ictus. Ambos proyectos destacan la importancia de las interfaces hápticas, pero se enfocan en aspectos diferentes de su implementación y evaluación.

Experiences on haptic interfaces for visually impaired young children [4](#)

Las personas con discapacidades visuales no tienen la misma igualdad en cuanto se habla de acceso a los servicios y beneficios que pueden aportar los computadores, ya que las interfaces gráficas de usuario no son usables en su totalidad para estos usuarios.

Teniendo en cuenta lo anterior, se crea una interfaz gráfica usable por medio de interfaces hápticas para el tipo de usuarios nombrados anteriormente usando las siguientes tecnologías:

- Una pantalla Reachin display que incluye un dispositivo phantom desktop.
- Una pantalla con gafas 3D estereoscópicas crystalEyes.
- Raton especial Magellan.

El phantom es una interfaz háptica que genera respuestas de fuerza precisa para simular el tacto, esta misma se maneja con un lápiz óptico unido a un brazo robótico que genera respuesta de fuerza.

El sistema reachin display utiliza un ordenador de doble procesador. El ratón Magellan se utiliza como dispositivo de entrada, consta de un mango grande con varios botones más pequeños.

El procedimiento para realizar pruebas sobre esta interfaz se siguió de la siguiente forma: cada uno de los niños que usaron la interfaz fueron observados por los integrantes de la investigación y sus padres, estos mismos se encargaban de explicar cómo se debía usar el lápiz, intervenir en caso de fuera necesario, etc.

Los niños aprendieron a usar esta interfaz gráfica de manera óptima en poco tiempo, gracias al uso de interfaces hápticas a la tranquilidad que se les daba a los niños de usar este mismo.

De esta manera, a medida que los usuarios usaban la interfaz planteada y recibían respuesta mediante las interfaces hápticas se familiarizaban cada vez más y más y así mismo era mucho más fácil el uso de esta interfaz. De igual forma, las personas a cargo del desarrollo de esta interfaz, cada que un usuario usaba y descubría un problema potencial, los encargados solucionaban este mismo.

Resumiendo los demás detalles del proyecto de este artículo, se puede ver que el uso de interfaces hápticas para favorecer el uso de computadores para personas con discapacidades visuales efectivamente funciona y esto hace una que la inclusión al mundo digital sea mayor. Pero debido a que se dependen de las pruebas y de los usuarios y estos no sea un número grande, esto hace que los sistemas que giran sobre este entorno estén sujetos a muchos cambios.

Es interesante ver como las interfaces hápticas ayudan a las personas con discapacidades visuales a tener una interacción con la computación. De esta manera, se cree que puede ser interesante que el trabajo de grado planteado y las sensaciones que este genera este al alcance de todo público.

El proyecto de este artículo se enfoca en el desarrollo de una interfaz gráfica usable para niños con discapacidades visuales mediante el uso de interfaces hápticas. Su objetivo principal es mejorar la accesibilidad de estos niños a la tecnología informática. Por otro lado, el proyecto de este trabajo de grado busca utilizar interfaces hápticas en la creación de una experiencia interactiva y educativa para los visitantes de un centro de conservación de primates, específicamente el mono tití.

Si se comparan estos dos enfoques, se pueden identificar algunas similitudes y diferencias:

En ambos casos, se hace uso de interfaces hápticas para mejorar la experiencia

del usuario. Tanto el artículo como este proyecto se preocupan por mejorar la experiencia del usuario. El artículo se enfoca en hacer que la tecnología informática sea más accesible y usable para los niños con discapacidades visuales. En contraste, este proyecto busca crear una experiencia inmersiva y educativa para los visitantes, lo que también se relaciona con la mejora de la experiencia del usuario.

Sin embargo, existen diferencias significativas entre el artículo y este proyecto. Mientras que el artículo se dirige específicamente a niños con discapacidades visuales y tiene como objetivo mejorar su accesibilidad a la tecnología informática, este proyecto tiene como público objetivo a los visitantes de un centro de conservación de primates y busca proporcionarles una experiencia educativa y de entretenimiento relacionada con los monos tití.

Además, el contexto de aplicación es muy diferente en ambos casos. El artículo se enfoca en aplicaciones de accesibilidad tecnológica para niños con discapacidades visuales, mientras que este proyecto se desarrolla en un entorno de conservación de la vida silvestre y turismo educativo.

En resumen, aunque ambos hacen uso de interfaces hápticas y tienen en cuenta la experiencia del usuario, el artículo y este proyecto tienen objetivos y contextos de aplicación distintos. El artículo busca mejorar la accesibilidad tecnológica para niños con discapacidades visuales, mientras que este proyecto busca crear una experiencia educativa y de entretenimiento para los visitantes de un centro de conservación de primates, centrada en los monos tití.

Simuladores virtuales para entrenamiento de habilidades para laparoscopia [16]

Para entender el proyecto presentado en este artículo se debe conocer qué es la cirugía laparoscópica, es un procedimiento en el cual se realizan pequeñas incisiones en el abdomen insuflado de un paciente para introducir a través de estos, un sistema de visión y unos instrumentos quirúrgicos especializados.

El problema principal de esto es que la manera de enseñanza es que los principiantes presencian a un cirujano experimentado realizar esta técnica. Esto lleva a diferentes problemas, ya que este no es eficaz y si alguien inexperto realiza una laparoscopia las consecuencias pueden ser fatales.

Una solución para las complicaciones que pueden surgir a la hora de practicar una Laparoscopia es usar simuladores que tengan un alto nivel de realismo y gracias a este simular un entorno demasiado parecido a uno real y que por medio de este entorno y las interfaces hápticas el conocimiento adquirido por medio de este simulador sea de alto aprovechamiento a la hora de realizar una Laparoscopia real.

Para estos simuladores se usan interfaces hápticas que están orientadas específicamente para simular cirugías, las cuales son:

- Sensable Phantom Devices.
- Novint Falcon.
- MPB Technologies Freedom 6S.
- Force Dimension Haptic Devices.
- Quanser 5 DOF Haptic Wand.
- Mentice Xitact IHP.

De igual forma, hay simuladores que se dividen en dos tipos, los cuales son: Simuladores para entrenamiento de habilidades básicas:

Por este tipo de simuladores se usa para que el usuario aprenda las bases de los procedimientos quirúrgicos por medio de ejercicios y tareas que usualmente reproducen ambientes didácticos y libres de presión que permite afianzar conocimientos teóricos, adquirir destrezas manuales y familiarizarse con las herramientas, estos son:

- SIMENDO Laparoscopy.
- VBLaST.
- SINERGIA.
- Simulador de la Universidad Central de Las Villas y la empresa SimPro.

Simuladores que recrean una cirugía en particular: Como lo dice su nombre, estos simuladores permiten obtener un manejo avanzado de las herramientas, entorno y técnicas para las cirugías que pretende simular. Estos son:

- Empedocles.
- V-Band Simulator.

Simuladores para habilidades básicas y módulos de cirugía: Estos simuladores son un híbrido entre los dos anteriores. Permiten entrenar habilidades básicas y también algunas cirugías en particular. Estos son:

- LapSim de Surgical Science.
- LAP Mentor de Symbionix Corp.

- LapVR de CAE Healthcare.
- SEP - SimSurgery Education Platform.
- LapX de Epona.

Todos estos simuladores usan tecnologías en común como, por ejemplo: Desarrollados en C++ este usa OpenHaptics y PhysX.

Las ventajas de estos simuladores y las interfaces hápticas es que son una alternativa interesante para adquirir ciertos conocimientos y destrezas, ya que no presentan un peligro para un paciente real y no hay inconformidades para pacientes que no este acuerdo que aprendices observen procedimientos quirúrgicos que se le vayan a realizar.

Las desventajas de estos es que no hay cifras exactas sobre la fuerza aplicadas en herramientas médicas para hacer incisiones, tampoco sobre la fricción, la dureza de la piel, medidas para hacer que un simulador sea demasiado para a uno real. Además, el elevado costo de estos simuladores y las interfaces hápticas.

Este artículo se centra en el uso de simuladores y interfaces hápticas para entrenar a cirujanos en procedimientos laparoscópicos. Su objetivo principal es mejorar la formación y las habilidades de los profesionales de la medicina en esta técnica quirúrgica especializada.

Por otro lado, este proyecto se enfoca en la aplicación de interfaces hápticas en un contexto de rehabilitación, específicamente para mejorar la calidad de vida de pacientes con discapacidades motoras. A través de un enfoque basado en principios físico-hápticos, busca proporcionar experiencias interactivas que ayuden en la recuperación y la mejora de las capacidades físicas de los usuarios.

Ambos proyectos aprovechan la tecnología de interfaces hápticas para crear experiencias de usuario inmersivas y efectivas. Sin embargo, sus aplicaciones y objetivos son distintos: el artículo se enfoca en la formación médica, mientras que este proyecto se orienta hacia la rehabilitación. Es importante destacar que ambos proyectos enfrentan desafíos relacionados con la precisión de las simulaciones y, en el caso del artículo, los costos asociados a la tecnología. Estos aspectos pueden brindar lecciones valiosas para este proyecto a medida que avanza en su desarrollo.

Capítulo 4

Metodología, Análisis y Diseño

4.1. Metodología

Iniciando este proyecto se plantearon entregas semanales referentes a distintas actividades tanto del documento escrito, como diferentes demos y entregas del prototipo funcional en diferentes etapas de la aplicación. Teniendo en cuenta esto, la metodología elegida para el desarrollo de este proyecto hace parte de las metodologías ágiles, estas tienen muchas ventajas como las que se ven en la revista creatia business. [17] Algunas de estas son:

- Calidad superior del producto.
- Satisfacción del consumidor.
- Mejoras continuas.
- Reducción de riesgos.

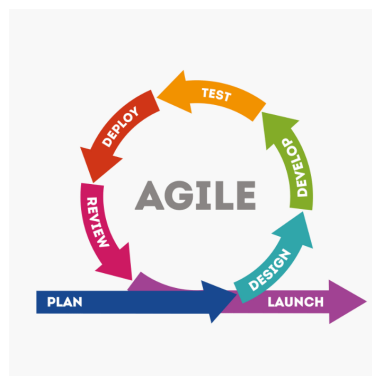


Figura 4.1: Metodologías ágiles

El desarrollo de este proyecto consistió en diferentes etapas como lo son:

- **Requerimientos:** En esta etapa se deja planteados y definidos los objetivos, alcances, funcionalidades expresados por el cliente o usuario final.
- **Diseño:** En esta etapa se realizan los diferentes diagramas correspondientes a las diferentes tecnologías, paradigmas y demás temas necesarios. Estos son:
 - Diagramas de casos de uso.
 - Diagrama UML de la arquitectura del sistema.
 - Diagrama de clases.
 - Diagrama de máquina de estados finita.
 - Diagrama de flujo.
- **Pruebas:** Esta etapa consiste en probar el sistema resultante de la implementación para que este cumpla con ser criterios de calidad.
- **Despliegue:** Esta etapa consiste en desplegar el producto resultante (en caso de tener un resultado que cumpla con los requerimientos y tenga una mínima cantidad de errores, si no se pasa a la etapa 6).
- **Revisión:** Consiste en repetir los diferentes puntos anteriores para así mismo obtener un sistema más robusto, de calidad y de manera más general, mejorar el producto.

La metodología ágil más comúnmente conocida y usada es SCRUM, esta será la elegida para el desarrollo de este proyecto.

4.1.1. Metodología SCRUM

Desde la guía oficial de SCRUM se puede definir como: "Scrum es un marco de trabajo liviano que ayuda a las personas, equipos y organizaciones a generar valor a través de soluciones adaptativas para problemas complejos. Scrum se basa en el empirismo y el pensamiento Lean. El empirismo afirma que el conocimiento proviene de la experiencia y de la toma de decisiones con base en lo observado. El pensamiento Lean reduce el desperdicio y se enfoca en lo esencial. Scrum emplea un enfoque iterativo e Incremental para optimizar la previsibilidad y controlar el riesgo. Scrum involucra a grupos de personas que colectivamente tienen todas las habilidades y experiencia para

hacer el trabajo y compartir o adquirir dichas habilidades según sea necesario.

Scrum combina cuatro eventos formales para inspección y adaptación dentro de un evento contenedor, el Sprint. Estos eventos funcionan porque implementan los pilares empíricos de Scrum de transparencia, inspección y adaptación.” [18]

4.1.2. Equipo en SCRUM

De la misma guía oficial de scrum se puede obtener los diferentes roles y la definición de estos mismos, los cuales son:

- **Scrum Master:** Es el encargado de asegurar que el grupo de trabajo de Scrum trabaje acorde a una perspectiva del negocio.
- **Product Owner:** Es el encargado de asegurar que el grupo de trabajo esté cumpliendo la metodología de Scrum.
- **Desarrolladores:** Son los encargados de hacer el incremento al final de cada Sprint. Estos tienen habilidades de: Analizar, Diseñar, Desarrollar, Probar y Documentar.

4.1.3. Etapas de SCRUM

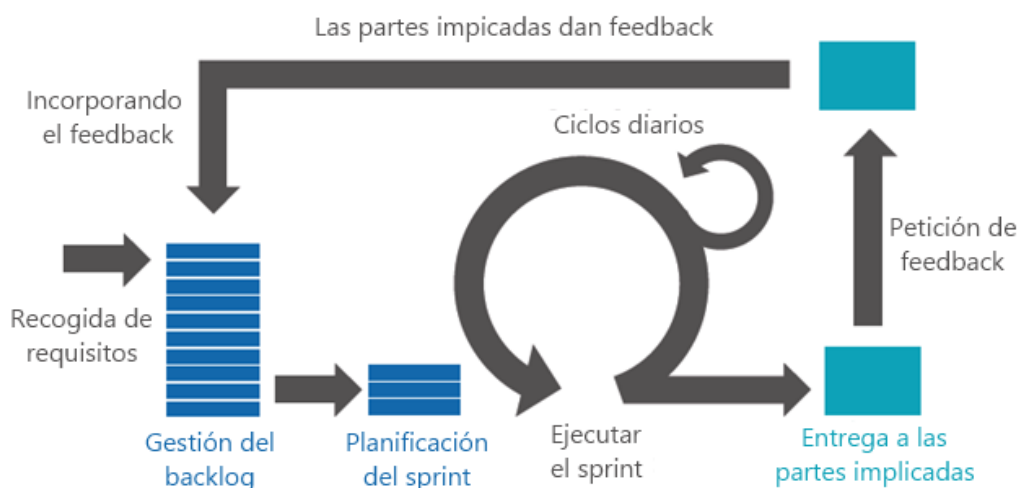


Figura 4.2: Metodologías ágiles

Se puede entender de la figura 4.2 que las etapas en SCRUM funcionan de la siguiente forma, teniendo en cuenta la guía oficial de SCRUM [18]:

1. **Requisitos de la aplicación:**
2. **Sprint Backlog:** En esta etapa se describen todas las tareas necesarias a lo largo del proyecto. [18]
3. **Ejecución del sprint:** Se definen una cierta cantidad de tareas las cuales se encuentran en el backlog. Adicionalmente, se define que tarea del equipo va a ser realizada por cuál integrante del equipo. [18]
4. **Reunión diaria:** En esta reunión se busca inspeccionar el avance de cada una de las personas que trabajan en cada una de las tareas planteadas en el sprint. [18]
5. **Reuniones semanales:** En estas reuniones se hacen los diferentes entregables pactados al inicio de cada sprint y la retroalimentación que se da en la reunión sobre este mismo. [18]
6. **Iteración:** Al final de cada sprint se miran la retroalimentación, se actualizan las tareas del backlog, se asignan nuevas tareas o actualización de las anteriores y se empieza el nuevo sprint. [18]

4.1.4. SCRUM aplicado a este proyecto

En este proyecto se aplicaron las diferentes etapas de SCRUM definidos de la siguiente forma: 11 sprints y cada sprint tenía una duración de 15 días. Se pueden entender las tareas realizadas en cada sprint de la siguiente forma:

- **Sprint 1:** En este sprint se realizaron diferentes tareas como lo son:
 - Investigar artículos relacionados a la combinación de las interfaces hápticas con la educación y el ámbito médico.
 - Consultar cómo los entornos de realidad virtual y aumentada generan diversas experiencias en los usuarios y su impacto en ellos.
- **Sprint 2:** En este sprint se realizaron diferentes tareas como lo son:
 - Hablar con los terapeutas y las personas encargadas de las tarepias para comprender las necesidades y así obtener un mejor sistema.
 - Entender el vínculo que hay entre los sentidos del ser humano y las sensaciones que estos causan al interactuar con el ambiente.

- **Sprint 3:** En este sprint, se realizó la tarea:
 - Familiarizarse con el sistema háptico de la herramienta que se va a utilizar: en este caso, un chaleco háptico.
- **Sprint 4:** En este sprint se realizaron las tareas:
 - Planear cómo se desea que la interacción y las sensaciones del chaleco mencionen de tal manera que permitan cierto grado de realismo con el entorno virtual vinculado.
 - Investigar sobre distintas herramientas de desarrollo que permitan unificar un entorno virtual con un sistema háptico.
- **Sprint 5:** En este sprint se realizaron las tareas:
 - Recolectar toda la información necesaria y relevante sobre el mono tití y su ecosistema para lograr diseñar un sistema y una simulación más cercana a la realidad.
 - Comunicar el chaleco háptico con las herramientas de desarrollo para programar su comportamiento.
- **Sprint 6:** En este sprint se realizaron las tareas:
 - Unificar el entorno virtual diseñado a la interfaz háptica para formar la estructura completa del sistema.
 - Programar el chaleco háptico para que genere los impulsos necesarios para simular a un mono tití balanceándose en el cuerpo del usuario.
- **Sprint 7:** En este sprint se realizó las tareas:
 - Programar el chaleco háptico para que genere los impulsos necesarios para simular a un mono tití balanceándose en el cuerpo del usuario.
- **Sprint 8:** En este sprint se realizó las tareas:
 - Programar el chaleco háptico para que genere los impulsos necesarios para simular a un mono tití balanceándose en el cuerpo del usuario.
- **Sprint 9:** En este sprint se realizaron las tareas:

- Programar el chaleco háptico para que genere los impulsos necesarios para simular a un mono tití balanceándose en el cuerpo del usuario.
 - Asegurarse de que el sistema sea a prueba de errores o fallos en tiempo real.
- **Sprint 10:** En este sprint se realizó las tareas:
 - Asegurarse de que el sistema sea a prueba de errores o fallos en tiempo real.
 - **Sprint 11:** En este sprint se realizaron las tareas:
 - Probar el sistema Integrado con usuarios aleatorios que tengan conocimientos en entornos virtuales y real.
 - Probar el sistema Integrado con terapeutas del instituto para niños ciegos y sordos y de esta manera ver que cumple con los objetivos planteados.

Anteriormente, se puede ver que hay tareas que se repiten en varios sprints. Esto hace referencia a que hay tareas que tomaron más de dos semanas. En consecuencia, estas tareas pasaban al siguiente sprint.

El resultado de las reuniones de trabajo fueron mostrados al director del proyecto en una frecuencia semanal. En lo referente a los entregables al final de cada Sprint.

4.1.5. Tipo de Estudio

El tipo de estudio de este proyecto es exploratorio, ya que se va a trabajar en integración de interfaces hápticas basa en un chaleco con un entorno virtual en donde se encuentra un mono tití virtual. Esto es novedoso, ya que aunque las interfaces hápticas tienen un gran potencial, estas no son aprovechadas en todas las áreas que se debería. Adicionalmente, hay poca información de como trabajar con la interfaz háptica de este proyecto, que como se dijo anteriormente, está basada en un chaleco, pero sí hay herramientas en donde usar este tipo de interfaces hápticas.

4.2. Análisis

El desarrollo del proyecto tuvo diferentes retos los cuales fueron surgiendo según se avanzaba en el desarrollo del proyecto, uno de ellos fue entender la relación que hay entre los sentidos del ser humano y el cómo estos causan sensaciones con el medio ambiente, para así tener la idea fundamental de este proyecto y de esta manera empezar con el desarrollo de este sistema.

Teniendo en cuenta lo anterior, desde el sprint 1 hasta el sprint 6 se hizo mucho énfasis en comprender las sensaciones las relaciones entre los sentidos y el medio ambiente, ver qué sensaciones se podían emular a través del chaleco bhaptics, las sensaciones emuladas tengan cierto grado de realismo y por último familiarizarse con el entorno de desarrollo del chaleco bhaptics y el cómo conectar esta herramienta con el ambiente de desarrollo en donde se encuentra el mundo de realidad virtual del mono tití.

Finalmente, entre el sprint 7 hasta el sprint 11 se trabajó en la herramienta de desarrollo del chaleco bhaptics, sincronizar la animación del mono tití con los pulsos que emite el chaleco, integrar esta sensación al entorno de desarrollo del ambiente virtual del mono tití, las pruebas con usuarios y estandarizar este sistema para que se puedan usar en niños del Instituto para Niños Ciegos y Sordos del valle del cauca.

4.2.1. Sensaciones y su relación con el ambiente

El ser humano tiene una relación constante con el ambiente en el que interactúa y este a su vez tiene un constante impacto sobre sus sentidos. [19]

De esta manera, se ve que el ambiente virtual debe permitir tener una interacción entre el mono tití y el usuario que usa este sistema. Esto permite que haya un nivel de inmersión con el sistema. Con esta idea mucho más clara se ve cuáles elementos son necesarios en el ambiente virtual y así mismo saber que sensaciones resultantes de la interacción del usuario y el ambiente pueden ser emuladas mediante el chaleco bhaptics.

4.2.2. Condiciones de baja capacidad visual

Hay diversas alteraciones sobre la capacidad visual de las personas, algunas de estas se trabajan en el Instituto Para Niños Ciegos y Sordos del Valle del Cauca. Algunas de estas alteraciones son:

- **Alteración central del campo visual:** Esta condición se puede definir como "La pérdida de visión central puede aparecer de forma progresiva o repentina y suele manifestarse como una mancha oscura, zona borrosa o área deformada en el centro del campo visual que impide ver los objetos con detalle" [20].
- **Reducción periférica del campo:** El Instituto Oftalmológico Kraff define esta alteración como: "La pérdida repentina de visión periférica en uno o ambos ojos es un síntoma y no una enfermedad ocular en sí. Como su nombre indica, se trata de la pérdida permanente o temporal de la visión lateral, es decir, la parte del campo visual situada en los bordes exteriores del campo visual." [21]
- **Hemianopsias:** La organización panamericana de la salud, define la hemianopsia como: "Pérdida parcial o completa de la visión en una de las mitades del campo visual de uno o ambos ojos. Los subtipos incluyen hemianopsia altitudinal, caracterizada por un defecto visual por encima o por debajo del meridiano horizontal del campo visual." [22].
- **Visión borrosa sin reducción del campo visual:** Esta condición se puede definir como: "La visión borrosa es la pérdida de la agudeza visual, lo que hace que los objetos aparezcan fuera de foco y con opacidad." [23].

4.2.3. Levantamiento de requisitos para este proyecto

Los requerimientos de este proyecto se llevaron a cabo en dos etapas. La primera etapa era antes de tener un acercamiento con el desarrollo, es decir en etapa de Investigación. La segunda etapa se afinaron los requerimientos de la etapa 1 teniendo un acercamiento a los ambientes de desarrollo.

De esta manera, los requerimientos funcionales y no funcionales se pueden ver en la etapa 2.

Etapa 1

Requerimientos de investigación:

1. Revisión de artículos sobre interfaces hápticas en educación y medicina (I-01).
 - **Descripción:** Se debe hacer una revisión exhaustiva de artículos científicos para identificar y analizar las investigaciones previas relacionadas con la combinación de interfaces hápticas en áreas como la medicina y la educación.
 - **Criterios de Éxito:** Se debe presentar un análisis detallado que contemple los hallazgos claves y la tendencia en el uso de interfaces hápticas en los campos de la educación y la medicina.
2. Estudio de realidad virtual en la experiencia de usuario (I-02).
 - **Descripción:** Investigar como los entornos de realidad virtual influyen en las experiencias de los usuarios y evaluar su impacto psicológico y cognitivo.
 - **Criterios de Éxito:** Debe presentarse un análisis que resuman los efectos identificados en la realidad virtual y aumentada en la experiencia del usuario basado en la consulta de investigaciones previas.
3. Entrevistas con terapeutas y profesionales en terapia (I-03).
 - **Descripción:** Realizar entrevistas con terapeutas y profesionales de terapia para comprender las necesidades y requerimientos con respecto a un sistema háptico en este ámbito.
 - **Criterios de Éxito:** Se debe proporcionar un análisis de las necesidades y expectativas identificadas durante las entrevistas con los terapeutas y profesionales en terapia.
4. Estudio entre los sentidos humanos y las sensaciones en el ambiente (I-04).
 - **Descripción:** Investigar y analizar la relación entre los sentidos humanos y las sensaciones experimentadas al interactuar con distintos entornos.
 - **Criterios de Éxito:** Debe presentar un análisis que resuman las conclusiones y hallazgos del estudio sobre el vínculo de los sentidos humanos y la sensación con el entorno.

5. Estudio del sistema háptico - chaleco háptico (I-05).
 - **Descripción:** Familiarizarse con el funcionamiento y las capacidades del sistema háptico, específicamente con el chaleco háptico que se utilizó en este proyecto.
 - **Criterios de Éxito:** Se debe realizar una descripción detallada del sistema háptico, incluyendo sus características técnicas y capacidades.
6. Planificación de la interacción y sensaciones del chaleco háptico (I-06).
 - **Descripción:** Desarrollar un plan detallado que defina como se pretende que el chaleco háptico interactúe con los usuarios y genere sensaciones realistas en el contexto del entorno virtual.
 - **Criterios de Éxito:** Debe presentarse un plan que describa las interacciones específicas y las sensaciones que el chaleco háptico debe proporcionar con el objetivo de lograr un grado de realismo deseado.
7. Evaluación de la herramienta de desarrollo para integrar el entorno virtual y el sistema háptico (I-07).
 - **Descripción:** Investigar y evaluar diferentes herramientas de desarrollo disponibles para la integración efectiva de un entorno virtual con un sistema háptico.
 - **Criterios de Éxito:** Debe presentar una evaluación de las herramientas de desarrollo consideradas, con recomendaciones sobre cuáles son las más adecuadas para lograr la integración deseada.

Etapa 2

La revista Northware nos define de una manera muy clara la definición de requisitos funcionales y no funcionales.

Entrando en detalle la revista define un requisito funcional como: "los requerimientos funcionales describen acciones específicas que el ingeniero de software debe ser capaz de realizar durante el desarrollo de software. Los requerimientos funcionales a menudo se dividen en reglas de negocio y casos de uso." [24](#)

Esta misma define un requisito no funcional como: "Los requerimientos no funcionales describen características específicas que el software debe poseer durante el desarrollo de la aplicación. Por lo general, se dividen en tres categorías: rendimiento, seguridad y calidad." [24] Teniendo en cuenta la definición anterior, los requisitos funcionales son los siguientes:

Requerimientos Funcionales:

1. Visualización correcta y completa del mundo virtual (RF-01).
 - **Descripción:** El ambiente virtual del mono tití debe proyectar los diferentes elementos del ambiente y de objetos naturales en las gafas Meta Quest 2. A continuación se listan los elementos necesarios para que el mundo esté desplegado completamente en ejecución:
 - Árboles del ambiente
 - Tomatillos (Alimento del mono tití)
 - Animales Secundarios (Oso de anteojos, jaguar, cóndor)
 - Río del mundo
 - Texturas del relieve
 - **Criterios de éxito:** Se logran identificar todos los elementos y texturas especificados del mundo de realidad virtual a través de las gafas Meta Quest 2 durante la ejecución del programa.
2. Visualización correcta y completa del mono tití virtual (RF-02).
 - **Descripción:** El modelo virtual del mono tití y sus animaciones (estática y dinámica) deben ejecutarse tanto de forma sincronizada como en los tiempos de activación correctos mediante las gafas Meta Quest 2. La animación estática es la de las extremidades del mono tití, simulando que está escalando, y la animación dinámica es la traslación del mono para simular que trepa sobre el usuario en el mundo virtual.
 - **Criterios de éxito:** El modelo renderizado del mono tití se muestra sin ningún fallo de colores o texturas, además, las animaciones del mono tití solo inician al realizar la interacción de darle comida al mismo, lo cual se logra llevando con los controles del Meta Quest 2 los tomatillos agarrados hacia la boca del mono, haciendo que colisionen y se pase al siguiente estado de animación.

3. Interacción consistente entre el ambiente, el mono tití y el usuario (RF-03).
 - **Descripción:** El usuario puede interactuar con el ambiente virtual (Recoger el alimento virtual del mono tití), interactuar con el mono tití (darle su alimento), y el mono tití muestra la interacción con el usuario (recibe el alimento) y activa su animación.
 - **Criterios de éxito:** El mono tití se trepa sobre el usuario únicamente al recibir el alimento. Esta animación inicia por la parte frontal del usuario, pasa por el hombro derecho y finaliza en la espalda. La animación de las extremidades es consistente con el desplazamiento del mono tití, creando una visualización más realista en términos de movimiento.

4. Interacción con la interfaz háptica del mono tití mediante el chaleco bhaptics (RF-04).
 - **Descripción:** El mono tití trepa por el cuerpo virtual del usuario y se activan los motores del chaleco háptico.
 - **Criterios de éxito:** La animación del mono tití se produce de manera coordinada y sincronizada con la activación de los motores del chaleco háptico, generando un vínculo sensorial (visual y de tacto) con el mono tití, para generar la impresión de que las extremidades del mono tití se sienten en el chaleco. Todo esto se genera posteriormente a alimentar al mono tití con los tomatillos.

Los requisitos no funcionales de este proyecto se pueden ver como:

Requisitos No Funcionales:

1. Tiempo de carga del mundo virtual y de la aplicación (RNF-01)
 - **Descripción:** Tiempos de carga de la aplicación mientras inicia, al cargar texturas y al activar animaciones e interacciones entre el mono tití, el ambiente y el usuario.
 - **Criterio de éxito:** La aplicación debe inicializarse en máximo 10 segundos desde su activación. El tiempo de respuesta de las interacciones con el mono tití (alimentarlo y sus animaciones) debe ser de máximo 1 segundo.
2. Interacciones con la comida del mono tití y el mono tití (RNF-02).
 - **Descripción:** Las colisiones entre los distintos objetos que pueden moverse en el mundo virtual (usuario, mono tití, tomatillos). Además de el uso de los controles para realizar las interacciones de agarrar y soltar la comida del mono.
 - **Criterio de éxito:** El sistema muestra la animación del mono tití subiendo por el torso del usuario y mediante el chaleco bhap-tics se percibe la sensación de esta caminata con una intensidad baja (alrededor del 50 % de la capacidad de los motores del chaleco). Todo esto con el fin de evitar perturbaciones en la sensación háptica y poder distinguir las cuatro extremidades del mono.
3. Pruebas y validación de la aplicación (RNF-03).
 - **Descripción:** Se desea probar la aplicación con los usuarios finales para obtener márgenes de mejora.
 - **Criterio de éxito:** Se tiene una retroalimentación positiva.

4.2.4. Diagrama de casos de uso

Teniendo en cuenta los requisitos anteriormente nombrados, se va a mostrar el diagrama de casos de uso en el cual se muestra el uso del sistema. Se va a mostrar la interacción entre el mono tití, el ambiente y el usuario, el sonido del mono tití, la animación de este escalando por el torso del usuario y la sensación de caminata mediante el chaleco bhaptics.

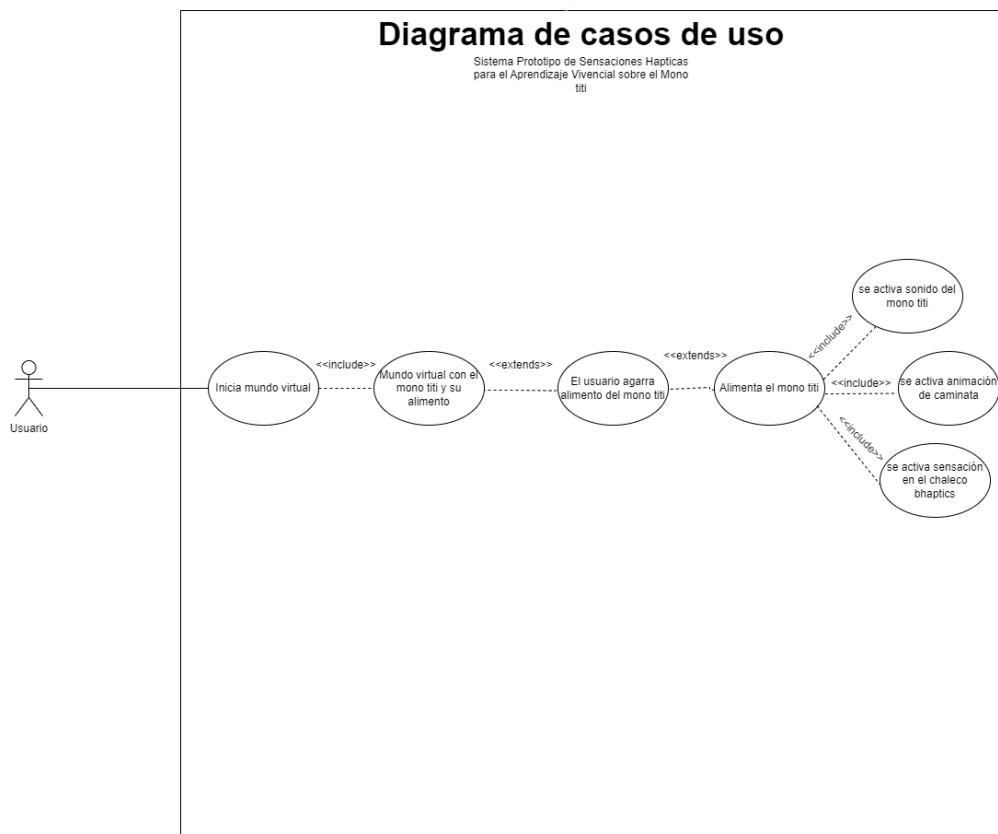


Figura 4.3: Diagrama casos de uso

4.3. Diseño

Se va a hablar acerca de la aplicación, acerca de la arquitectura, las diferentes clases que se usaron y el flujo que lleva la aplicación. Gracias a estos se puede conocer la aplicación desde la perspectiva de un usuario, hasta el funcionamiento de esta misma.

4.3.1. Arquitectura del sistema

La arquitectura del sistema muestra la descripción del proyecto, el cómo funciona y el cómo este se encuentra planeado para su correcto funcionamiento. En el caso de este proyecto se desarrolló en Unity, teniendo en cuenta esto, las aplicaciones desarrolladas en esta herramienta usan una arquitectura llamada Entity Component System (ECS).

Funcionamiento de la arquitectura ECS

Se define los pilares fundamentales de esta arquitectura como:

- Entidades: Se definen como objetos de propósito general. En el contexto de un motor de juego, por ejemplo, cada objeto de juego aproximado se representa como una entidad” [25].
- Componente: Se pueden ver como: una etiqueta una entidad como si tuviera un aspecto particular y contienen los datos necesarios para modelar ese aspecto. Por ejemplo, cada objeto del juego que puede sufrir daño puede tener un componente de Salud asociado a su entidad. Las implementaciones suelen utilizar estructuras o clases”. [25]
- Sistema: se define como: Un proceso que actúa sobre todas las entidades con los componentes deseados. Por ejemplo, un sistema de física puede consultar entidades que tienen componentes de masa, velocidad y posición e iterar los resultados realizando cálculos físicos en los conjuntos de componentes de cada entidad”. [25]

Se define como: Un comportamiento de una entidad se puede cambiar en tiempo de ejecución mediante el sistema agregando, eliminando o modificando componentes. Los datos de todos los componentes generalmente se almacenan juntos en la memoria física, lo que permite un acceso eficiente a la memoria para sistemas que operan en múltiples entidades. [25]

Teniendo en cuenta lo anterior, en el sistema se puede ver el diagrama de la arquitectura como lo muestra la figura 4.4.

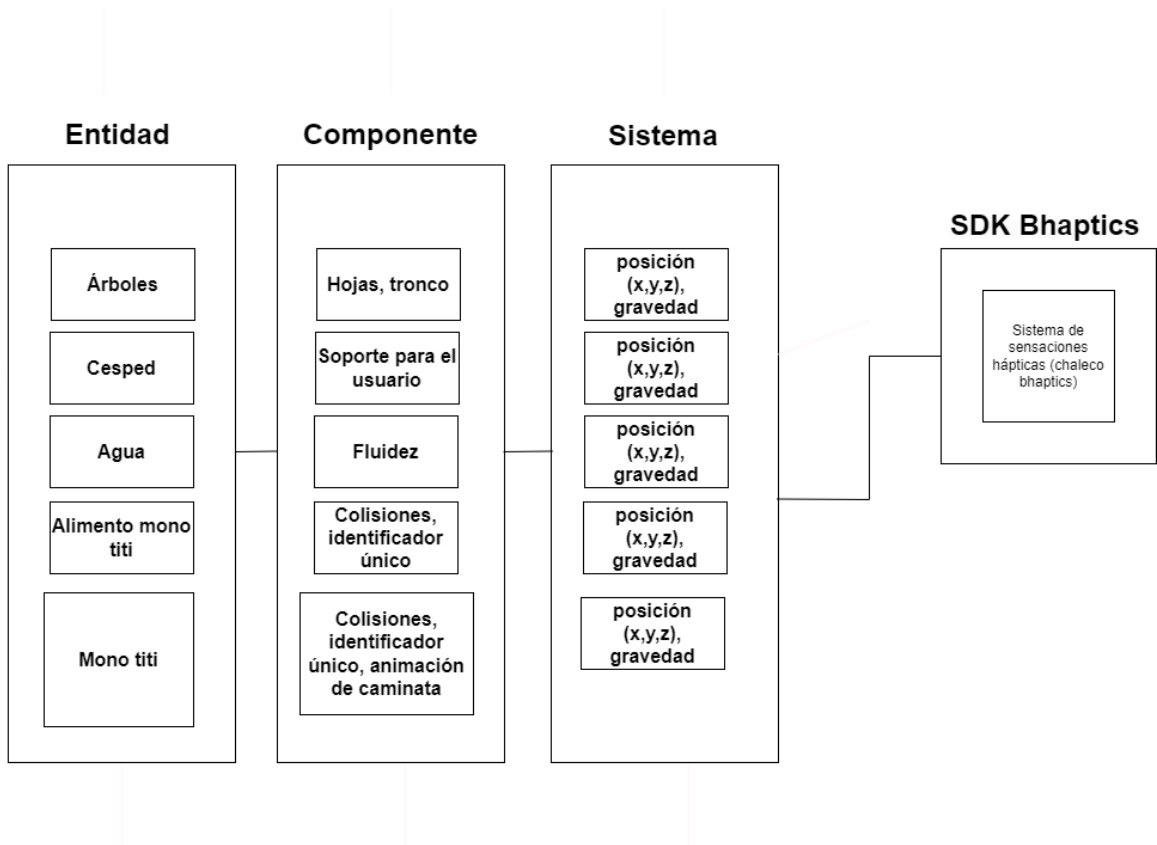


Figura 4.4: Arquitectura del sistema

4.3.2. Diagrama de clases

Un diagrama de clases se define como: un tipo de diagrama de estructura estática que describe la estructura de un sistema mostrando las clases del sistema, sus atributos, operaciones (o métodos), y las relaciones entre los objetos. [26]

Según la definición anterior, se puede ver que el paso a paso del sistema se ve de la siguiente forma:

- En el sistema hay un mundo virtual. Este se compone de Árboles, Agua, Césped, Alimento para el mono tití y un mono tití.
- Cada uno de los objetos anteriores tienen diferentes características como por ejemplo:
 - **Árbol:** Tiene una cantidad de hojas, diferentes coordenadas (X,Y,Z) que los permiten situarse en algún lugar del mundo virtual.
 - **Césped:** Tiene diferentes coordenadas (X,Y,Z) que los permiten situarse en algún lugar del mundo virtual.
 - **Agua:** Tiene diferentes coordenadas (X,Y,Z) que los permiten situarse en algún lugar del mundo virtual.
 - **Alimento:** Tiene diferentes coordenadas (X,Y,Z) que los permiten situarse en algún lugar del mundo virtual.
 - **Animal:** Tiene diferentes coordenadas (X,Y,Z) que los permiten situarse en algún lugar del mundo virtual. Adicionalmente, este animal tiene la capacidad de comer el alimento correcto para su especie, en caso del mono tití, serían tomatillos. Por último, el mono tití tiene la capacidad de ejecutar la animación de caminata y la sensación en el chaleco de esta misma. Al mismo tiempo que tiene un sonido que es similar al que emite mono tití.

El alimento se asocia a un animal. En este caso al mono tití se le asocia los tomatillos ya que este es su alimento en el mundo real.

Teniendo en cuenta lo anterior, se puede ver el diagrama en la figura 4.5.

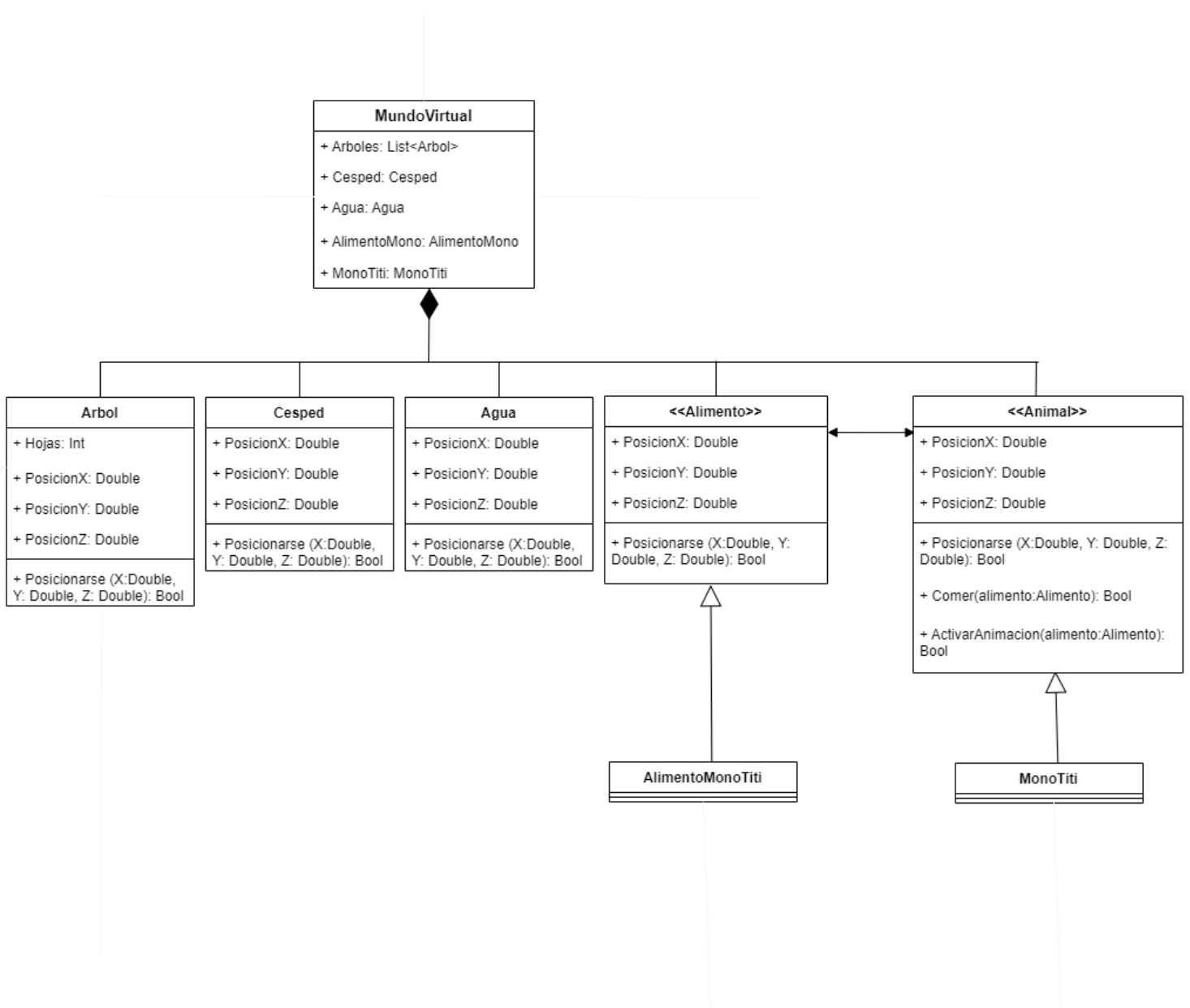


Figura 4.5: Diagrama De Clases

4.3.3. Diagrama de flujo

Se define un diagrama de flujo como: Un diagrama de actividades que representa los flujos de trabajo paso a paso en un sistema. [27]

Según la definición anterior, se puede ver que el paso a paso del sistema se ve de la siguiente forma:

1. Inicia el sistema.
2. Si el usuario decide caminar, camina hacia la comida, de lo contrario, se queda en donde inició el sistema.
3. Si el usuario decide agarrar la comida, puede dársela al mono tití (esta debe ser la comida correcta para él), de lo contrario se queda con la comida agarrada.
4. Si el mono tití recibe la comida correcta, se activa la animación de caminar y la sensación de este caminando por el torso de la persona que esté probando el sistema mediante el chaleco bhaptics, todo esto mediante se escucha el sonido que hace este animal. De lo contrario, no hace nada.

El diagrama que explica esto, está en la figura 4.6.

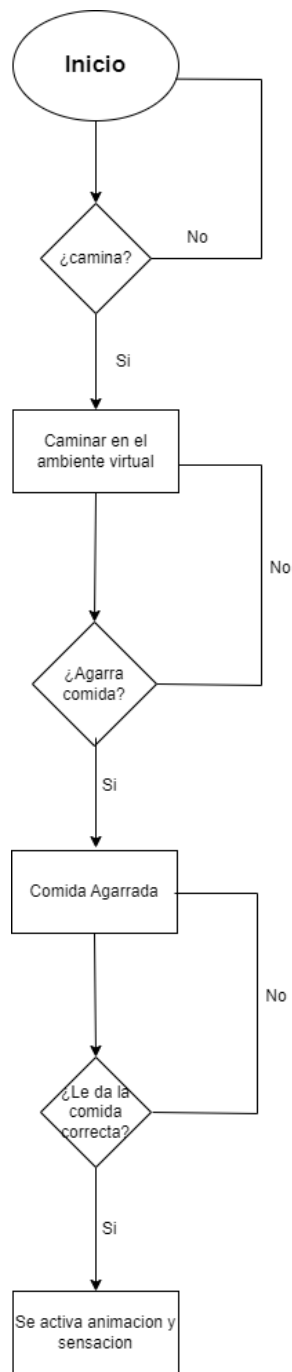


Figura 4.6: Diagrama De Flujo

4.3.4. Máquina de estados finitos

Este diagrama explica cada uno de los diferentes estados que puede tomar el sistema, en el momento en que este se esté ejecutando en un computador. Cabe resaltar, que esta máquina de estados es con respecto al mono tití y no a la ejecución de todo el sistema

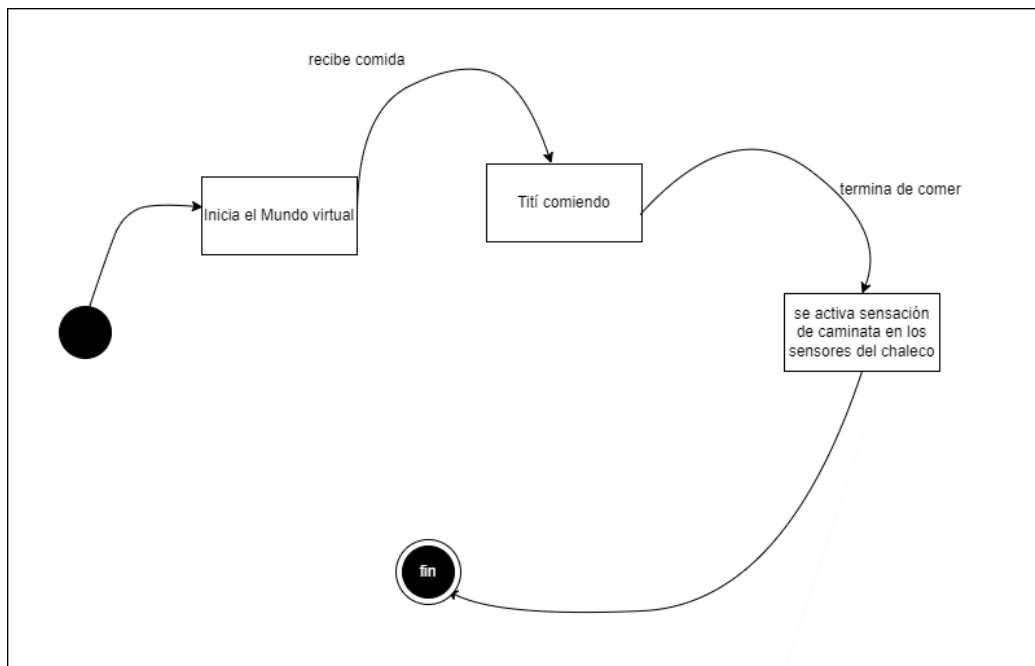


Figura 4.7: Diagrama máquina de estados finitos

Se puede ver que en este diagrama el sistema solo puede tomar un número de decisiones que lo llevan por un solo camino, ya que no tiene interfaz gráfica y es un mundo en realidad virtual que hace que el usuario elija el camino correcto.

Capítulo 5

Implementación

5.1. Dispositivos de desarrollo

A lo largo del desarrollo de este proyecto se trabajó con un computador que se encuentran en la Pontificia Universidad Javeriana Cali al igual que las gafas de realidad virtual Meta Quest 2 y por último el chaleco bhaptics brindado por el instituto para niños ciegos y sordos.

Las características de los dispositivos anteriormente nombrados son las siguientes:

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

- **Gafas Meta Quest 2:** Estas gafas consisten en un visor inalámbrico que cubre completamente la parte superior de la cara, siendo puestas directamente en los ojos, y ajustables con una correa para la parte superior de la cabeza. También poseen un pequeño dispositivo de audio a cada lado, cerca a donde estarían las orejas del usuario. Además, contienen un par de controles inalámbricos, cada uno para cada mano del usuario, compuesto por varios botones, gatillos y análogos dispuestos para utilizar todos los dedos de las manos. El funcionamiento de estas gafas consiste en que, cargando previamente un entorno virtual en las mismas, la persona puede mover su cabeza en cualquier dirección, y su representación digital en el mundo virtual apuntará su campo de visión en esa dirección. Por el lado de los controles, son los que permiten interactuar con otros objetos del entorno virtual, permitiendo realizar

acciones como traslación del modelo digital de la persona, agarrar objetos, soltarlos, o activar interruptores o disparadores.

- **Chaleco bHaptics TactSuit X40:** Este dispositivo consiste en un chaleco ajustable tanto en la zona de los hombros como en los costados del tronco de la persona, del tamaño aproximado para una persona joven delgada. Dentro de la cobertura externa del chaleco se encuentran 40 motores vibro-táctiles. Dichos motores son completamente controlables a través del software de desarrollo del chaleco, el cuál permite generar secuencias específicas de vibraciones y efectos en cada uno de ellos para simular distintos estímulos en el cuerpo del usuario. El chaleco se conecta vía bluetooth al dispositivo que contenga el software que lo controla o la aplicación que lo utiliza.

Se decidió realizar el desarrollo de este proyecto con los dispositivos anteriormente nombrados, ya que eran los que tenían mejores especificaciones tanto como para el desarrollo de la aplicación, como para las pruebas.

5.2. Herramientas de desarrollo

Este desarrollo tuvo diferentes etapas y herramientas en las cuales se tuvieron que tener diferentes niveles de desarrollo, en cada una de las etapas se van a escribir las ventajas y la razón del porqué se escogió esta herramienta.

5.2.1. Blender

Se decidió utilizar Blender en este proyecto debido a que es gratuito, se actualiza constantemente y tiene muchas opciones para el desarrollo de mallas, animaciones, etc.

Teniendo en cuenta esto, se utilizó Blender en el proyecto con los siguientes objetivos:

1. Todo lo referente a mallas usadas en este proyecto, principalmente hablando de la malla usada para el mono tití, para que los colores usados se vieran correctamente en esta misma.
2. Todo lo referente a la animación que realiza el mono tití cuando este detecta que le dieron la comida correcta, en esta herramienta se logra emular correctamente la caminata mediante la animación realizada en sus extremidades.
3. La integración de las 2 etapas anteriores, que los colores de la malla se vieran correctamente en esta misma, al mismo tiempo que se realizaba la animación de caminata.

Al final de esta etapa, se obtuvo un resultado como el de la figura 5.2.

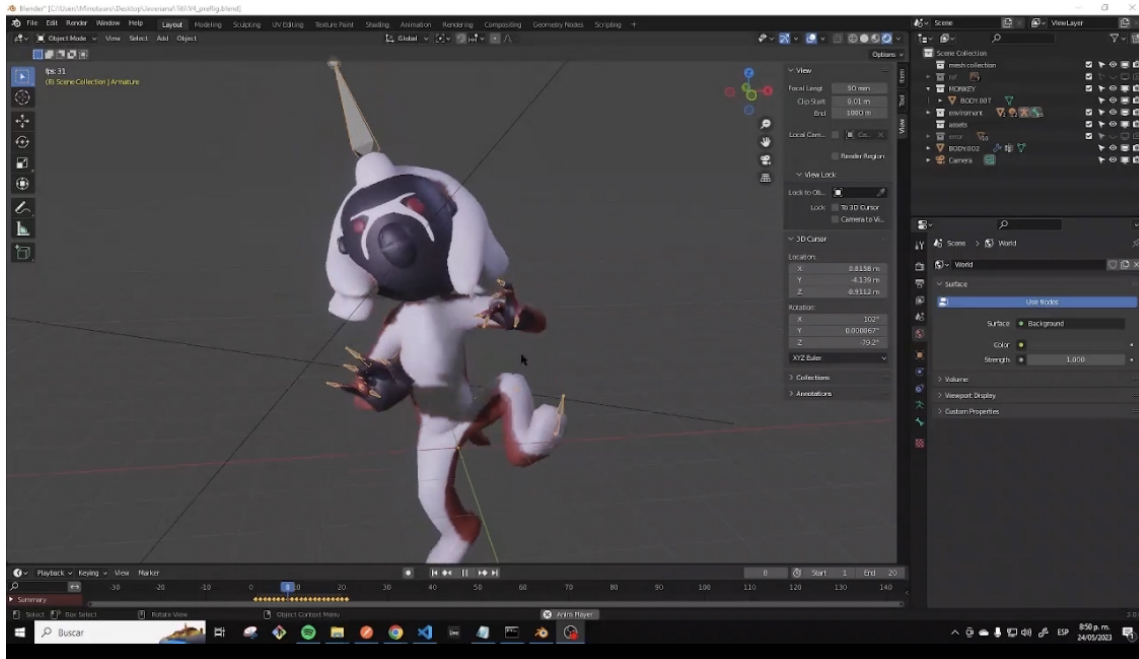


Figura 5.1: Mono tití en Blender creado por artista 3D Johnatan Soto

5.2.2. Unity

Se decidió utilizar Unity debido a su versatilidad, el conocimiento previo de la herramienta, su enorme comunidad y disponibilidad de información y documentación, y la disponibilidad de licencias académicas. Además, su asset store permite la creación de un gran árbol de posibilidades tanto para el entorno y sus elementos como para poder integrar las sensaciones brindadas en el chaleco bhaptics con el entorno virtual del mono tití.

Unity se desarrolla con scripts de código en C#, esto quiere decir que todo el desarrollo de este proyecto esta enfocado en código de este lenguaje de programación. Teniendo en cuenta esto se manejaron diferentes técnicas de distribución de scripts y el paradigma orientado a objetos, ya que así se facilitaba el desarrollo de este sistema. También se utilizaron dos dependencias fundamentales para el uso de los dispositivos de realidad virtual, una de ellas para las gafas Meta Quest 2 y la otra para el chaleco háptico bhaptics, que también cuenta con una interfaz gráfica dentro de Unity para conectarse a la API donde se desarrolla todo lo relacionado con el chaleco.

Teniendo claro todo lo anteriormente dicho, se utilizó Unity en el desarrollo del proyecto con los siguientes objetivos:

1. Ver que las mallas y animaciones que se habían realizado en Blender funcionaran y se visualizaran en una escena de Unity.
2. Gracias a la Asset Store se logró una correcta visualización del mundo virtual en las gafas Meta Quest 2.
3. Gracias a la Asset store se logró una correcta sincronización de las sensaciones del chaleco bhaptics con el mundo virtual mediante la API que esta ofrece.
4. Gracias a las ventajas que tiene usar un lenguaje como C# al permitir usar variables y parámetros que supervisan diversos aspectos importantes en un espacio tridimensional como la altura o la posición, se logró que el mono tití se moviera sobre el usuario y escalara la altura necesaria de la persona simulada mientras se ejecutaba la animación de la caminata que hace este. Se acordó con el director que la altura a la cual el mono tití escalaba iba a ser la altura promedio de un niño de 8 años.

Antes de hablar sobre los resultados obtenidos en esta etapa, se resalta la versión de Unity en la que se realizó el proyecto. Esto se puede ver en la figura 5.2.

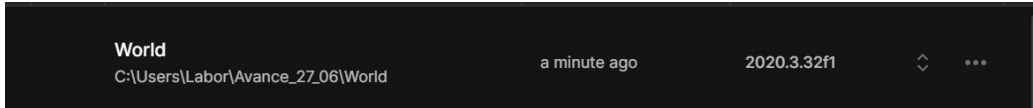


Figura 5.2: Versión del unity

Al final de esta etapa en el desarrollo de este proyecto, se pudieron obtener diferentes resultados como:

- El mundo virtual en Unity consiste en una pequeña simulación de un bosque montañoso, contiene algunos árboles y un pequeño río. Además, en el mundo se sitúan diversas especies de animales que se encuentran en vía de extinción, así como diversos alimentos que corresponden a lo que más comen dichos animales. Para los propósitos de este trabajo de grado, el único animal relevante es el mono tití, y su alimento correspondiente son unos tomatillos. En las figuras 5.3 y 5.4 se pueden apreciar a gran escala estos detalles.

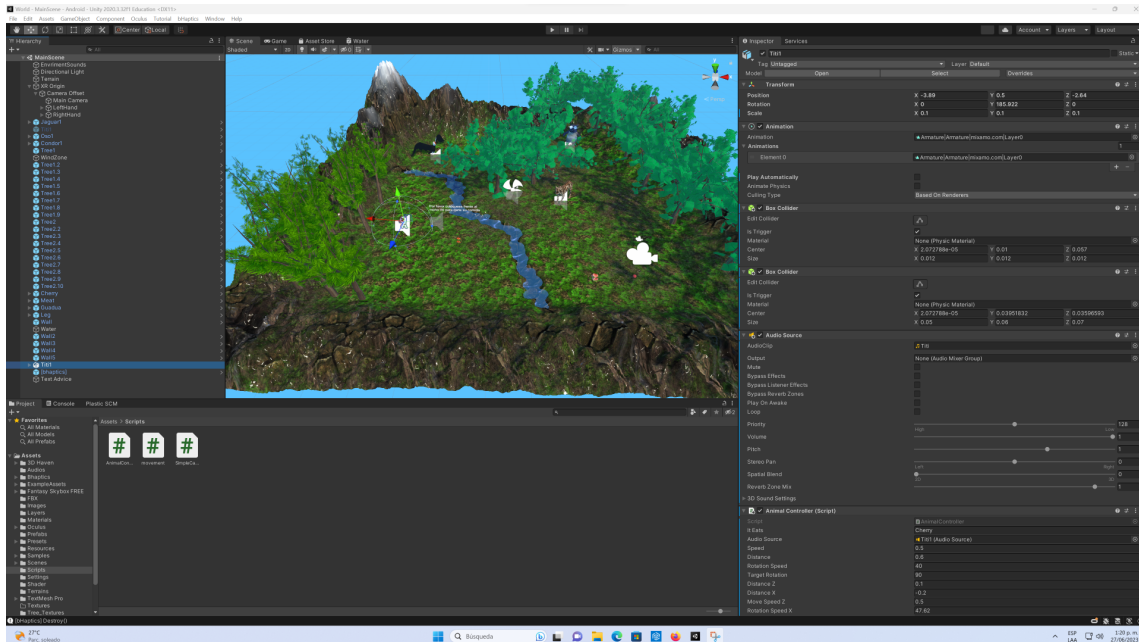


Figura 5.3: Mundo virtual en el ambiente de desarrollo

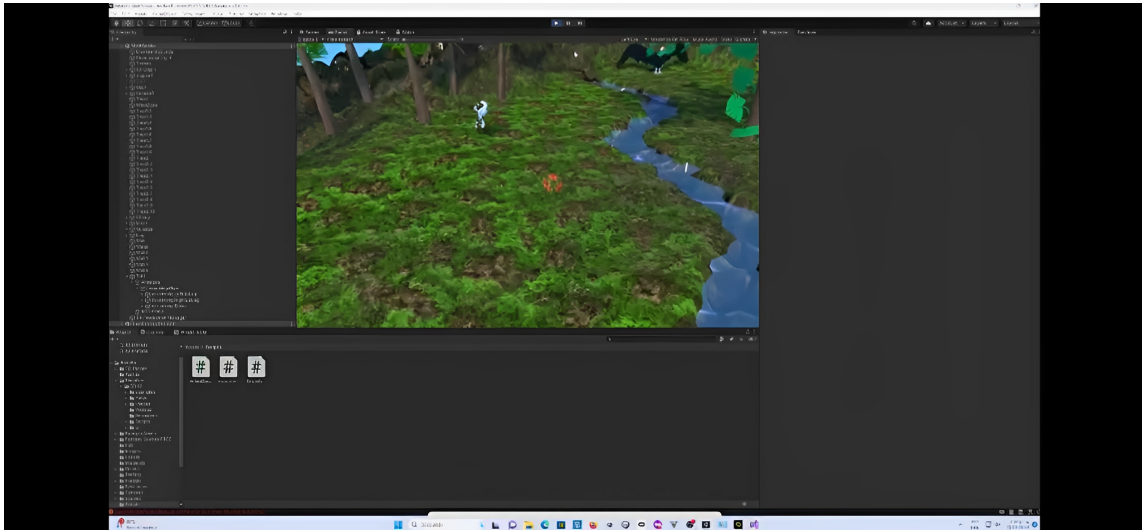


Figura 5.4: Mundo virtual en el ambiente de desarrollo

5.2.3. Bhaptics Developer

Se decidió usar el chaleco háptico bhaptics ya que era la que disponía el instituto para niños ciegos y sordos debido al Proyecto Colaborativo Colombia - Quebec: Narrativas, educación y realidad virtual del grupo Destino.

El chaleco bhaptics, cuenta con una plataforma de desarrollo, la cual se llama Bhaptics developer, cuya interfaz consta de 3 secciones principales. La primera es la sección donde aparecen dos tableros con 20 circunferencias en cada uno. Estos tableros son la representación tanto de la parte frontal como de la parte posterior del chaleco háptico, y cada una de las circunferencias representa cada uno de los 40 motores disponibles en el chaleco. En esta zona se pueden seleccionar diversos patrones y combinaciones de motores en un momento en específico para que realicen la vibración deseada. La segunda sección se encuentra en la mitad de la pantalla y consiste en las modificaciones que se le pueden realizar a los diferentes motores como su intensidad, si pertenecen a algún grupo en específico o si hacen parte de algún efecto háptico. Finalmente en la parte de abajo se encuentra una línea de tiempo, en donde se ubican todas las acciones que se han creado para el chaleco y que se quiere que se realicen en el orden dado y con la duración que se desee. Toda la interfaz se observa en la figura 5.5.

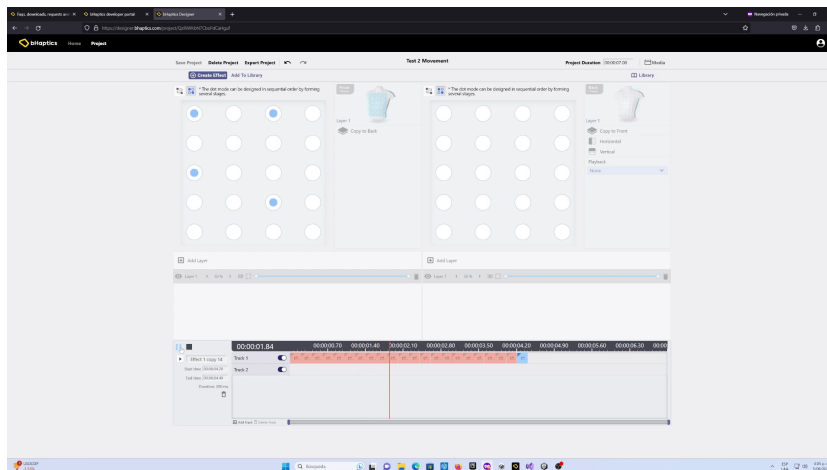


Figura 5.5: Interfaz de la plataforma Bhaptics Developer

En esta plataforma se pueden manejar cada uno de los motores que tiene el chaleco, esto quiere decir, la intensidad con la cual se va a sentir, el tiempo que va a durar activado cada motor y el orden en el cual se ejecutan estos.

Conociendo esto, en esta plataforma de desarrollo se logró:

1. Activar los motores, con un orden y una intensidad la cual lograra emular caminata de un mono tití.
2. Sincronizar que el tiempo que duraran encendidos estos motores fuera igual a la animación de caminata que se tenía del mono tití para que esta tuviera un alto nivel de realismo.

5.2.4. Meta Quest 2

Con este dispositivo se tenía que configurar en modo desarrollador para que se pudieran hacer las diferentes pruebas en el ambiente de desarrollo.

Este dispositivo solo tenía un objetivo el cual era poder visualizar el mundo virtual en estas gafas de realidad virtual, que se pudiera mover libremente por el mundo virtual gracias a los controles que tienen este dispositivo.

5.2.5. Integración Final

La etapa final del desarrollo de este proyecto fue integrar todo lo anteriormente nombrado en un solo proyecto de Unity.

Todo esto se logró mediante las diferentes dependencias, plugins, y assets utilizados en Unity. Los plugins y dependencias se pueden ver en la figura 5.6.

| Plugins/Dependencias | Uso |
|-----------------------------|--|
| JetBrains Rider Editor | IDE / Editor de código |
| Oculus XR Plugin | Desarrollo VR para dispositivos Oculus/Meta |
| OpenXR Plugin | Estándar abierto para realidad extendida |
| Test Framework | Pruebas automatizadas para Unity |
| TextMeshPro | Texto enriquecido de alta fidelidad |
| Timeline | Secuenciación de animaciones interactivas |
| Unity UI | Interfaz de usuario de Unity |
| Universal RP | Renderizado en tiempo real universal |
| Version Control | Control de versiones integrado |
| Visual Studio Code Editor | Edición en Visual Studio Code |
| Visual Studio Editor | Edición en Visual Studio |
| XR Interaction Toolkit | Herramientas interacción en realidad extendida |
| XR Plugin Management | Gestión de plugins de XR |
| bHaptics Haptic Plugin | Utilizar dispositivos hápticos en Unity |

Figura 5.6: Plugins y Dependencias

La integración de todas las etapas anteriores se pueden ver en el siguiente video:

[Video de la integración final de todas las etapas de desarrollo.](#)

5.3. Sensaciones de caminata de un mono tití percibidas mediante el chaleco bHaptics

El chaleco bHaptics es graduable según las dimensiones de las personas que lo va a probar esto quiere decir que se facilita la forma en la que cada usuario puede percibir las sensaciones emitidas por cada uno de los motores del chaleco.

Gracias a la herramienta nombrada en el capítulo anterior (bHaptics Developer) y en conjunto con el chaleco bhaptics ajustado a las medidas del usuario se puede lograr una sensación de realismo permitida por el chaleco y todos los assets que brindan una ayuda para la integración de estas interacciones con en el mundo virtual.

Teniendo en cuenta todo lo anterior se obtuvieron resultados bastantes notables en cuanto al manejo de las sensaciones emitidas por el chaleco, activar cinemáticas en un momento específico, detección de objetos específicos (por ejemplo, que el mono tití detecte que se le dió de comer la comida correcta), ayudan a que el mundo virtual sea bastante realista.

Antes de hablar sobre la solución aplicada a problemas de visión, vale la pena aclarar que todo este apartado es complementario. Esto debido a las diferentes funciones de las gafas Meta Quest 2.

Se acogió la solución brindada con él. Dispositivo del tal manera que los usuarios ideen girar a cabeza aunque esta no es implementada por los autores de este proyecto para completar la visualización del entorno.

Sin embargo el enfoque principal de solución propuesta se basa en interfaces haptic as como se describirá a continuación.

5.4. Solución aplicada al aprendizaje vivencial mediante una interfaz háptica

Las personas con diversidades sensoriales en general, son abarcadas en este tópico del proyecto debido a que la interfaz háptica (chaleco bHaptics) puede ser usado por cualquier usuario.

Se pueden emular la sensación de caminata del mono tití y esta se hace mediante los diferentes motores que tiene el chaleco.

La unión del mundo virtual y el chaleco bHaptics hacen que se pueda obtener una experiencia más completa y cercana a la realidad de interactuar con un mono tití y aprender sobre este mismo.

5.5. Audios en Unity

En esta aplicación cuando el mono tití detecta que le dieron el alimento correcto, se activa la animación del mono y la sensación en el chaleco de sus extremidades desplazándose, y adicionalmente, se activa el sonido que hace el mono tití.

En Unity se pueden usar diferentes assets para que se active el sonido del mono tití al momento de alimentar a este mismo con el alimento correcto y que de esta manera este solo se reproduzcan una sola vez.

La generación de estos sonidos se hace mediante las gafas Meta Quest 2, ya que estas tienen un par de parlantes que permiten que se escuchen en los oídos del usuario.

5.6. Exposición sobre el mono tití

El objetivo principal de este proyecto también está ligado a un componente educativo. De esta manera, se logra mostrar bastantes aspectos importantes de este animal emblemático en Colombia como lo son:

1. Conocer el ecosistema donde este animal habita, se logra aprender sobre este mediante la caminata, percepción y diferentes aspectos que se pueden lograr mediante las gafas del Meta Quest 2 en este mundo virtual construido en este proyecto.
2. Dimensiones del mono tití, se logra aprender sobre estas mediante la investigación previa en el desarrollo de este proyecto y el cómo se logró escalar las diferentes mallas y prototipos para alcanzar realismo en este.
3. Aspecto del mono tití, esto se logró mediante el parecido que tiene el modelo virtual con un mono tití real.
4. Sonidos que emite el mono tití, esto se logró mediante diferentes audios que se logran activar como anteriormente se explicó, este sonido es realista y lo suficientemente largo para que pueda ser percibido.

Teniendo en cuenta todo esto, se logra presentar diferentes aspectos importantes sobre el mono tití en una población sensorialmente diversa.

Capítulo 6

Validación del Sistema y Resultados

En este sistema se realizaron una combinación entre los siguientes modelos de pruebas:

- **Modelos shift left de pruebas:** "La idea del Shift Left Testing es incluir actividades de calidad desde el principio, incluso desde que se planifican las funcionalidades, con el fin de mitigar riesgos y tener un mejor análisis de calidad en cada una de las etapas de este proceso" [28]
- **Modelos shift right de pruebas:** Esto significa realizar pruebas de software al final del ciclo de desarrollo. También conocido como "pruebas en producción", este enfoque ayuda a los desarrolladores de software a descubrir escenarios nuevos e inesperados que pueden no haberse detectado en el entorno de desarrollo. El objetivo de estas pruebas es garantizar el comportamiento, el rendimiento y la disponibilidad adecuada durante el uso de producción de una aplicación. [29]

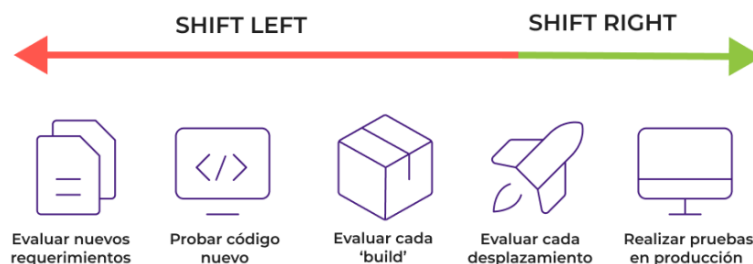


Figura 6.1: Modelo de pruebas

se decidió realizar la validación y las pruebas del sistema de esta forma, ya que de esta manera se logra:

1. monitorear el comportamiento del usuario, las métricas comerciales, las métricas de rendimiento y seguridad, e incluso realizar experimentos de fallas deliberadas (Chaos Engineering) para ver qué tan resistente es el sistema a las fallas. [29]
2. descubrir áreas de riesgo a lo largo de las etapas críticas de diseño y desarrollo del software. Este enfoque trata de evitar problemas antes de que estos sucedan. [29].

6.1. Plan de pruebas del sistema

Ya que la herramienta esta limitada su uso, se decidió probar las diferentes funcionalidades, sin embargo, se decidió realizar pruebas exploratorias manuales para cada uno de los requerimientos funcionales. Para recordar de una manera más simple estos son:

1. Visualización correcta del mundo virtual, el cual incluye elementos del mundo virtual, como lo son: árboles, tomatillos, animales secundarios, río del mundo, texturas del relieve. (RF-01).
2. Visualización correcta del mono tití virtual, incluye todos elementos apreciables de la malla, como por ejemplo: colores, características 3D de la malla, relieve. etc, (RF-02).
3. Se puede dar una interacción entre el ambiente, el mono tití y el usuario. La interacción hace referencia a que se puede recoger los tomatillos del ambiente virtual, darle el alimento al mono tití, el mono tití recibe el alimento y se activa la animación de caminata al igual que la sensación en el chaleco (RF-03).
4. Se puede sentir caminar el mono tití mediante el chaleco bhaptics mientras se muestra la animación del mono tití caminando sobre el torso del usuario. La animación del mono tití se produce de manera coordinada y sincronizada con la activación de los motores del chaleco háptico, generando un vínculo sensorial (visual y de tacto) con el mono tití, para generar la impresión de que las extremidades del mono tití se sienten en el chaleco (RF-04).

6.2. Pruebas funcionales:

Las pruebas Funcionales a realizar en el sistema son las siguientes:

1. **Prueba #1:** Visualización correcta del mundo virtual
 - **Forma de realización:** Después de un análisis e investigación sobre Unity se procedió a visualizar el mundo virtual mediante las gafas Meta Quest 2.
 - **Resultados:** Se logró visualizar de manera correcta mediante las gafas Meta Quest 2 los diferentes aspectos importantes y visuales del mundo como lo son, árboles, tomatillos, animales secundarios, ríos del mundo, texturas del relieve.
 - **Efectos de la prueba:** Se creó una prueba para verificar la correcta visualización del mundo virtual y se volvió a realizar esta prueba una vez hecho el cambio.

2. **Prueba #2:** Visualización correcta del mono tití virtual
 - **Forma de realización:** Después de un análisis e investigación sobre Unity se procedió a visualizar el mono tití virtual mediante las gafas Meta Quest 2.
 - **Resultados:** Se logró visualizar de manera correcta mediante las gafas Meta Quest 2. incluye todos elementos apreciables de la malla, como por ejemplo: colores, características 3D de la malla, relieve. etc
 - **Efectos de la prueba:** Se creó una prueba para verificar la correcta visualización del mono tití virtual y se volvió a realizar esta prueba una vez hecho el cambio.

3. **Prueba #3:** Se puede dar una interacción entre el ambiente, el mono tití y el usuario
 - **Forma de realización:** Ya en el ambiente virtual el usuario puede caminar y explorar el mundo al mismo tiempo que se puede alimentar al mono tití con la comida específica para el mismo.
 - **Resultados:** Mediante las gafas Meta Quest 2, se puede realizar una exploración e interacción con el mundo virtual y modelo virtual del mono tití. Se puede dar una interacción entre el ambiente, el mono tití y el usuario. La interacción hace referencia a que se puede recoger los tomatillos del ambiente virtual, darle el alimento al mono tití, el mono tití recibe el alimento y se activa la animación de caminata al igual que la sensación en el chaleco.
 - **Efectos de la prueba:** Se creó una prueba para verificar la correcta exploración e interacción con el mundo virtual, el mono tití virtual mediante las gafas Meta Quest 2.

4. **Prueba #4:** Se puede sentir caminar el mono tití mediante el chaleco bhaptics mientras se muestra la animación del mono tití caminando sobre el torso del usuario
 - **Forma de realización:** Ya en el ambiente virtual, el mono tití al momento de que se le dé de comer la comida correcta, se activa la animación en Unity y la sensación de caminata en el chaleco bHaptics.
 - **Resultados:** Mediante las gafas Meta Quest 2 se puede ver la animación de caminata del mono tití y mediante el chaleco bHaptics se puede sentir la sensación de caminata del mono tití. La animación del mono tití se produce de manera coordinada y sincronizada con la activación de los motores del chaleco háptico, generando un vínculo sensorial (visual y de tacto) con el mono tití, para generar la impresión de que las extremidades del mono tití se sienten en el chaleco
 - **Efectos de la prueba:** Se creó una prueba para verificar la correcta de la animación de caminata del mono tití virtual mediante las gafas Meta Quest 2 y la sensación de caminata del mono tití mediante el chaleco bHaptics.

6.3. Pruebas no funcionales:

Para los requisitos no funcionales se tuvo en cuenta para los tiempos óptimos del sistema y que no haya errores en las interacciones la aplicación estaba hecho en Unity, eso quiere decir que la aplicación reaccionaba rápido a las diferentes instrucciones y su tiempo de carga no era excesivo, esto se debe a los diferentes assets que hay disponibles y las diferentes ventajas que tienen los lenguajes de programación orientados a objetos.

6.4. Pruebas con Usuarios

El día 25 de septiembre del año 2023 se llevó a cabo una validación del sistema con niños que hacen parte del instituto, Estos niños tienen diferentes condiciones que afectaban sentidos de la vista y audición. Gracias a diferentes encargados del instituto se pudo realizar las pruebas de una forma positiva y gracias a su conocimiento sobre se pudo obtener información sobre el sistema (ver figuras 6.2, 6.3 y 6.4).



Figura 6.2: Configurando el sistema y sus dependencias en el instituto



Figura 6.3: Pruebas con el encargado



Figura 6.4: Pruebas con el encargado

Las pruebas iniciaron en una etapa temprana con 6 estudiantes de la universidad Javeriana Cali, en donde se obtuvo comentarios muy similares entre cada uno de ellos. Los comentarios fueron:

1. Se siente bastante parecido a una caminata en el torso gracias al chaleco.
2. El sistema es muy interesante debido a la interacción que hay entre el mundo virtual, el mono tití virtual y el usuario. Pero mareaba un poco.

Antes de iniciar las pruebas con un usuario se le explica sobre que funciona el sistema, que va a suceder. “Es un programa en donde entras a un mundo virtual, en él te vas a encontrar con un mono tití y su alimento, lo vas a alimentar y cuando le des de comer, vas a sentir que él se sube por tu cuerpo gracias al chaleco que vas a usar.”

Las diferentes pruebas consistieron en preguntas antes y después de usar el sistema como las siguientes:

- Esta pregunta se hizo antes de probar el sistema ”**¿Qué recuerdas acerca del mono tití?**”.
- Esta pregunta se hizo después de probar el sistema ”**¿Qué sentiste?**”.
- Esta pregunta se hizo después de probar el sistema ”**¿Qué viste?**”.
- Esta pregunta se hizo después de probar el sistema ”**¿Qué escuchaste?**”.

Las diferentes pruebas con los diferentes niños que hacen parte del instituto se pueden ver de la siguiente forma:

1. **Paciente 1:** Paciente femenina, ceguera total, 8 años, grado primero (figura 6.5).
 - **¿Qué recuerdas acerca del mono tití?:** Es pequeño, tiene 2 patas, 2 manos, cola.
 - **¿Qué sentiste?:** Se sintió que se movía, cómo paticas, por delante, por detrás del torso, también se sintió que vibraba. Me gustó
 - **¿Qué escuchaste?:** Se escucha como el campo, también se escucha como vibra.
 - **¿Qué viste?:** No aplica.



Figura 6.5: Pruebas con el primer niño

2. **Paciente 2:** Paciente femenino, 9 años, primero, Condición auditiva, grado primero (figura 6.6).

- **¿Qué recuerdas acerca del mono tití?:** Es pequeño, lo recordó con un muñeco que tenía en la mano, recuerda que el mono Tití come, come bananos, también que comen tomatillos, lo recordó con ayuda, sabe que son pequeños.
- **¿Qué sentiste?:** Le di la comida, le di los tomatillos, se los comió, se me subió, no sabe distinguir de qué forma se sube el mono tití virtual, en qué sentido escaló. Con ayuda sabe distinguir, que subió de arriba hacia abajo, por la espalda, por adelante dijo que parecido. Dijo que era muy bonito.

- ¿Qué viste?: Un bosque con animales y comida.
- ¿Qué escuchaste?: No aplica.



Figura 6.6: Pruebas con el segundo niño

3. **Paciente 3:** Femenino, tiene 6 años, está en transición. No tiene ninguna condición sensorial especial (figura 6.7).

- **¿Qué recuerdas acerca del mono tití?:** Recuerda que es un mono pequeño y que también le gusta comer tomatillos.
- **¿Qué sentiste?:** Se sintió chévere, Le di de comer al mono y se me montó encima. Le dio risa cuando el chaleco empezó a vibrar.
- **¿Qué viste?:** Estoy mirando un mono Tití. Puede guiarse con total naturalidad, se guía mucho mediante la vista y la orientación. Le sorprende mucho el entorno.
- **¿Qué escuchaste?:** Los pajaritos.



Figura 6.7: Pruebas con el tercer niño

6.4.1. Comentarios del Instituto Para Niños Ciegos y Sordos del Valle del Cauca

El sistema también fue probado por las personas encargadas del instituto. Como por ejemplo, terapeutas, profesores, trabajadores. Según los comentarios recibidos por estas personas fueron:

- Debido a que los niños son sensorialmente diversos, esto dificulta muchos procesos naturales sobre los sentidos humanos. Es importante que antes de usar el sistema se explique en que consiste el sistema, el cómo funciona el sistema en cuanto a controles, una demostración inicial, etc.
- Está muy bien planteando desde el punto de vista terapéutico, en cuanto a movimientos, etc.

6.4.2. Sugerencias del Instituto Para Niños Ciegos y Sordos del Valle del Cauca

Desde el instituto se hicieron las siguientes sugerencias al sistema:

- Fuente sonora, para niños con ceguera, debe ser mucho más fuerte el sonido que emite el mono tití.
- Mejorar los controles de movimiento, sería ideal que pueda realizar los movimientos en el mundo virtual mediante gestos. La interacción debe ser simple, para personas con ceguera.
- Se debe de alguna forma detectar al usuario en el mundo virtual para así saber qué se está haciendo, tener claro, de alguna forma (algún objeto), emular un cuerpo virtual para tener más claro, posiciones, altura a la hora de que el mono tití escale en el torso del usuario.

6.4.3. Análisis de las Pruebas con Usuarios.

Teniendo en cuenta todo lo anterior y la visto en el instituto se puede entender que el sistema es entretenido y cumple con un componente terapéutico, este sistema esta enfocado en niños.

Las pruebas se tuvieron que realizar con 3 niños debido a la dificultad inherente a realizar una prueba más grande. Sabiendo esto, los niños con los que se probó el sistema tuvieron una reacción positiva ya que es un programa interactivo y fue llamativo para ellos. De la misma forma, para ellos fue sorprendente la sensación de caminata del mono tití en el chaleco y describieron esta sensación como un recorrido por la parte superior de sus cuerpos. Sin embargo, hubo una dificultad con el tamaño del chaleco y su ajuste, debido a que incluso en el ajuste para personas más pequeñas y delgadas, este seguía siendo un poco grande para los niños y les llegaba a cubrir incluso cierta parte de las piernas.

Entendiendo esto se puede obtener información como que el sistema ayuda a aprender sobre el mono tití de manera vivencial, se aprende sobre su ecosistema, sobre como luce físicamente, sobre que come, etc.

Capítulo 7

Conclusiones y Trabajo Futuro

7.1. Conclusiones

Una vez realizadas las pruebas y la validación del sistema, se logra cumplir con los objetivos planteados en este proyecto.

Para lograr cumplir con los objetivos fue muy importante la investigación necesaria para todas las diferentes etapas del desarrollo, como también la investigación necesaria sobre el mono tití y todo lo referente a este animal, por último y no menos importantes toda la investigación necesarias por parte del instituto para niños ciegos y sordos para obtener las pautas necesarias para que el sistema sea usable para los niños que hacen parte de este mismo.

Por otro lado, si bien se habló de un tipo específico de condiciones sensoriales para el uso del prototipo, esto no es un impedimento para el uso del sistema en general. Esto se descubrió en la etapa de pruebas, ya que se ensayó en diferentes tipos de usuarios como lo fueron el **paciente 1**, **paciente 2**, **paciente 3**, terapeutas y estudiantes de la carrera de ingeniería de sistemas en la Pontificia Universidad Javeriana Cali. Sin embargo, para los pacientes del instituto, el sistema necesita orientación de un experto para ser usado y para generar una mejor interacción con el mono tití.

Adicionalmente, hablando más específicamente del desarrollo del sistema fue posible gracias a los diferentes conocimientos adquiridos en lenguajes de programación, los beneficios que trae la programación orientada a objetos y la extensa documentación que hay sobre Unity. Por otro lado, no hay mucha información sobre la integración entre Unity y la herramienta bHaptics developer, pero esta se logró hacer de manera correcta.

Finalmente, fue gratificante la retroalimentación dada por cada una de las personas del instituto para niños ciegos y sordos del Valle del Cauca, ya que el sistema cumple con la tarea principal planteada mediante los objetivos y evidencia potencial de aportar en la comprensión del objeto de estudio. En este caso el mono tití.

7.2. Trabajo futuro

Se lograron los objetivos propuestos en este proyecto. Sin embargo, es importante tener en cuenta unas posibles funcionalidades que se podrían tener en cuenta en futuras etapas de este proyecto y las recomendaciones hechas por parte del Instituto para Niños Ciegos y Sordos. Algunas de estas son:

- Agregar más de un mono tití al ambiente virtual y que la interacción de estos con el usuario se pueda percibir mediante el chaleco bhaptics.
- Exportar la aplicación como un archivo ejecutable (.exe, .apk, etc) para que sea más amigable el uso de esta aplicación. Esto mejora la usabilidad ya que se puede utilizar el ejecutable como se usa cualquier aplicación instalada normalmente en un dispositivo digital, por ejemplo, una aplicación en android. De esta manera, se puede evitar el uso directo de Unity para ejecutar el programa y fomenta que se use de una forma más natural la aplicación con los usuarios.
- Encontrar un audio sobre el mono tití, que predomine sobre el sonido que emiten los motores al vibrar y adecuar este mismo al sistema.
- Mejorar los controles de movimiento del sistema para que estos se pueden hacer mediante gestos con las extremidades.
- Intentar probar el sistema con diferentes chalecos los cuales sus dimensiones sean mucho más acordes a las de un niño de poca edad (5-9 años).

Bibliografía

- [1] “Biodiversidad - IDEAM.” [Online]. Available: <http://www.ideam.gov.co/web/siac/biodiversidad>
- [2] “Colombia, el segundo país más biodiverso del mundo.” [Online]. Available: https://minciencias.gov.co/sala_de_prensa/colombia-el-segundo-pais-mas-biodiverso-del-mundo
- [3] “Proyecto Tití: Conserving the Cotton-top Tamarin in Colombia ¿Acerca de los Titíes Cabeciblancos ¿Acerca de los Titíes Cabeciblancos.” [Online]. Available: <https://www.proyectotiti.com/es-es/Cotton-Top-Tamarins-es-ES/About-Cotton-Top-Tamarins-es-ES#:~:text=AMENAZAS%20A%20LA%20SUPERVIVENCIA%20DEL%20TIT%C3%8D%20CABECIBLANCO&text=Hoy%20en%20d%C3%ADa%2C%20la%20mayor,ilegal%20y%20la%20expansi%C3%B3n%20urbana.>
- [4] S. Patomäki, R. Raisamo, J. Salo, V. Pasto, and A. Hippula, “Experiences on haptic interfaces for visually impaired young children,” *International Conference on Multimodal Interfaces*, 10 2004.
- [5] R. Gr, “Realidad virtual, la tecnología que ya está cambiando nuestras vidas,” 1 2023. [Online]. Available: <https://www.adslzone.net/reportajes/tecnologia/realidad-virtual-rv/>
- [6] Malla 3d. Consulta: [11/02/2023]. [Online]. Available: <https://docs.blender.org/manual/es/latest/modeling/meshes/primitives.html>
- [7] Rodrigo, “Interfaces hápticas y el desafío de diseñarlas después de la pandemia - Blog IDA Chile — Estrategia para el éxito de tu negocio,” 12 2021. [Online]. Available: <https://blog.ida.cl/disenio/interfaces-hapticas-y-el-desafio-de-disenarlas-despues-de-la-pandemia/>
- [8] “DISCAPACIDAD SENSORIAL.” [Online]. Available: <https://www.fundacioncaser.org/discapacidad/sensorial/introduccion>

- [9] A. Lujambio, A. Sáenz, Lucero, C. Piña, M. Escobar, J. Gómez, M. López, D. Ramírez, F. Sánchez, and R. López, “Discapacidad visual, Guía didáctica para la inclusión en educación inicial y básica,” 2010. [Online]. Available: <https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/106810/discapacidad-visual.pdf>
- [10] O. E. Tesoro, “Los problemas visuales más comunes,” 4 2022. [Online]. Available: <https://oftalmologoseltesor.com/2022/04/25/los-problemas-visuales-mas-comunes/>
- [11] “Mono Tití cabeciblanco,” 4 2020. [Online]. Available: <https://www.nationalgeographicla.com/animales/2020/04/mono-titi>
- [12] E. F. Suárez, “Mono tití: características, comportamiento y hábitat,” 12 2017. [Online]. Available: <https://misanimales.com/mono-titi-caracteristicas-comportamiento-habitat/>
- [13] “Papers with Code - Haptic Feedback Systems in Medical Education,” 11 2018. [Online]. Available: <https://cs.paperswithcode.com/paper/haptic-feedback-systems-in-medical-education>
- [14] L. D. Lledó, S. Ezquerro, F. Bressi, R. Morales, N. Garcia-Aracil, and J. Sabater, “Implementation of 3D visualization applications based on physical-haptics principles to perform rehabilitation tasks,” *IEEE International Conference on Biomedical Robotics and Biomechatronics*, 8 2014.
- [15] A. Hamam, M. Eid, A. El Saddik, and N. D. Georganas, “A quality of experience model for haptic user interfaces,” in *Proceedings of the 2008 Ambi-Sys Workshop on Haptic User Interfaces in Ambient Media Systems*, ser. HAS '08. Brussels, BEL: ICST (Institute for Computer Sciences, Social-Informatics and Telecommunications Engineering), 2008.
- [16] D. R. Ramos Tovar and S. A. Salinas, “SIMULADORES VIRTUALES PARA ENTRENAMIENTO DE HABILIDADES PARA LAPAROSCOPIA,” *Revista Ingeniería Biomédica*, vol. 10, pp. 45 – 55, 06 2016. [Online]. Available: http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1909-97622016000100006&nrm=iso
- [17] “Ventajas de las metodologías ágiles.” [Online]. Available: <https://creatiabusiness.com/9-ventajas-de-usar-la-metodologia-agile/>

- [18] Scrum.org. (2020) Scrum guide. Consulta: [8/28/2023]. [Online]. Available: <https://scrumguides.org/docs/scrumguide/v2020/2020-Scrum-Guide-Spanish-Latin-South-American.pdf>
- [19] Animales y su interaccion con el entorno. Consulta: [11/02/2023]. [Online]. Available: <https://es.khanacademy.org/science/ap-biology/ecology-ap/responses-to-the-environment/a/animal-communication>
- [20] Pérdida de visión central. Consulta: [9/01/2023]. [Online]. Available: <https://miranza.es/sintomas/perdida-de-vision-central/>
- [21] Reduccion periferica del campo. Consulta: [9/01/2023]. [Online]. Available: <https://kraffeye.com/es/blog/tunnel-vision-peripheral-vision-loss-symptoms-causes-treatments#:~:text=La%20prdida%20repentina%20de%20visin,bordes%20exteriores%20del%20campo%20visual.>
- [22] Hemianopsia. Consulta: [9/01/2023]. [Online]. Available: <https://decs.bvsalud.org/es/ths/resource/?id=28067#:~:text=Perdida%20parcial%20o%20completa%20de,meridiano%20horizontal%20del%20campo%20visual.>
- [23] Vision borrosa sin reduccion del campo visual. Consulta: [9/01/2023]. [Online]. Available: <https://www.allaboutvision.com/es/condiciones/vision-borrosa.htm#:~:text=Las%20principales%20causas%20de%20la,vista%2C%20o%20bien%20trastornos%20neurolgicos.>
- [24] Requerimientos en el desarrollo de software y aplicaciones. Consulta: [9/01/2023]. [Online]. Available: <https://www.northware.mx/blog/requerimientos-en-el-desarrollo-de-software-y-aplicaciones/#:~:text=Generalmente%20hay%20dos%20tipos%20de,cmo%20debe%20comportarse%20el%20sistema.>
- [25] Entity component system. Consulta: [17/09/2023]. [Online]. Available: https://en.wikipedia.org/wiki/Entity_component_system
- [26] Diagrama de clases. Consulta: [17/09/2023]. [Online]. Available: https://es.wikipedia.org/wiki/Diagrama_de_clases
- [27] Diagrama de flujo. Consulta: [17/09/2023]. [Online]. Available: https://es.wikipedia.org/wiki/Diagrama_de_flujo
- [28] Shift left testing y shift right testing, una estrategia posible. Consulta: [25/09/2023]. [Online]. Available: <https://cl.abstracta.us/blog/shift-left-right-testing-software-enfoques/>

- [29] ¿qué es 'shift left testing' y cómo se aplica a las pruebas de software? Consulta: [25/09/2023]. [Online]. Available: <https://www.encora.com/es/blog/que-es-shift-left-testing-y-como-se-aplica-a-las-pruebas-de-software#:~:text=Qu%20significa%20%27shift%20right%20testing,final%20del%20ciclo%20de%20desarrollo.>