



INSTITUTO POLITÉCNICO

NACIONAL

ESCUELA SUPERIOR DE CÓMPUTO

TRABAJO TERMINAL II

“Sistema de realidad virtual del cuerpo humano para el estudio del sistema digestivo”

Autor:
Almendarez Perdomo Rodrigo

Directores:
M. en Ing. Moscoso Malagón Yosafat
M. en C. Saucedo Delgado Rafael Norman

Para obtener el título de

Ing. en Sistemas Computacionales

25 de agosto de 2020

Advertencia

“Este documento contiene información desarrollada por la Escuela Superior de Cómputo del Instituto Politécnico Nacional, a partir de datos y documentos con derecho de propiedad y, por lo tanto, su uso quedará restringido a las aplicaciones que explícitamente se convengan.”

La aplicación no convenida exime a la escuela su responsabilidad técnica y da lugar a las consecuencias legales que para tal efecto se determinen.

Información adicional sobre este reporte técnico podrá obtenerse en:

La Subdirección Académica de la Escuela Superior de Cómputo del Instituto Politécnico Nacional, situada en Av. Juan de Dios Bátiz s/n Teléfono: 57296000, extensión 52000.

Agradecimientos

En primer lugar quiero agradecer a mis directores, M. en Ing. Moscoso Malagón Yosafat y el M. en C. Saucedo Delgado Rafael Norman, quienes con sus conocimientos y apoyo me guiaron a través de cada una de las etapas de este proyecto para alcanzar los resultados que buscaba, después de todo el desarrollo de un Trabajo Terminal es el pináculo de la formación de un alumno en la carrera de Ingeniería en Sistemas Computacionales, el cual requiere de mucha dedicación y conocimientos para llegar a su desarrollo exitoso. Especialmente quiero agradecer al profesor Alfredo Rangel Guzmán por sus enseñanzas sobre la vida y el actuar del mundo actual, y el recibir su apoyo incondicional. También quiero agradecer a la Escuela Superior de Cómputo por brindarme todos los recursos, herramientas y conocimientos que fueron necesarios para llevar a cabo el proceso de investigación y desarrollo del Trabajo Terminal. No hubiese podido arribar a estos resultados de no haber sido por su incondicional ayuda. Por último, quiero agradecer a todos mis compañeros y amigos, principalmente a los que me han acompañado desde el inicio de mi carrera y a mi familia y pareja, por apoyarme aún cuando mis ánimos decaían. En especial, quiero hacer mención de mis padres, que siempre estuvieron ahí para darme palabras de apoyo y un abrazo reconfortante para renovar energías y continuar trabajando para finalizar este camino. Muchas gracias a todos.

Rodrigo Almendarez Perdomo

Índice general

1. Presentación del problema	6
1.1. Contexto y motivación	6
1.2. Objetivos del Sistema	7
1.2.1. Objetivos Específicos	7
1.3. Revisión del Estado del Arte	8
1.4. Organización de capítulos	10
2. Marco Conceptual	11
2.1. Sistema Digestivo	11
2.2. Realidad Virtual	14
2.3. Realidad Virtual como Apoyo a la Enseñanza-Aprendizaje	15
2.4. Morfología	15
2.5. Modelado 3D	15
2.6. Generación de Entorno 3D	16
2.7. Modelos 3D de los Órganos	17
2.7.1. Glándulas Salivales	18
2.7.2. Cavidad oral y faringe	18
2.7.3. Esófago	18
2.7.4. Estómago	19
2.7.5. Intestino delgado	19
2.7.6. Hígado	20
2.7.7. Páncreas	20
2.7.8. Vesícula Biliar	21
2.7.9. Intestino Grueso y Ano	21
2.8. Modelo del sistema digestivo unificado	22
2.9. Evaluación de modelos 3D por personal calificado	22
3. Solución Propuesta	24
3.1. Propuesta de Solución	24
3.2. Viabilidad	24
4. Pruebas Experimentales	27
4.1. Mecanismos de medición para la fase de pruebas	27
4.2. Pruebas de Entorno 3D con headset de R.V.	27
4.2.1. Configuración de entradas	28
4.2.2. Teleportación	29
4.3. Presencia e interacción de manos	38
4.3.1. Interactuando con entorno	39

4.3.2. Interacciones manuales adicionales	40
4.4. Retroalimentación de los stakeholders y usuarios potenciales	42
5. Conclusiones y Trabajo a Futuro	43
5.1. Trabajo a futuro	43
5.2. Conclusión	43
6. Referencias y Glosario	46
6.1. Glosario	47
Referencias	49
Apéndices	49

Capítulo 1

Presentación del problema

Durante 2019 se entrevistó al Dr. Mario Alberto Rios Macias Jefe del Área de Morfología de la Escuela Superior de Medicina (ESM) del Instituto Politécnico Nacional (IPN) y comentó que “**Los medios que se utilizan para el estudio del cuerpo humano principalmente son medios impresos tradicionales, así como el uso de cuerpos para su disección y análisis posterior**”. El uso de cuerpos para su disección tiene un alto costo el cual se puede ver en la sección 3.2 que incluye el mantenimiento del cuerpo en las instalaciones, el mantenimiento de las instalaciones, y la inhumación de los cuerpos.

Por lo tanto, se encuentra en esta disciplina o área una oportunidad importante que podría acercar la tecnología en el alumnado ...

1.1. Contexto y motivación

La Escuela Superior de Medicina del Instituto Politécnico Nacional tiene su antecedente en la Carrera de Medicina Rural creada en 1938, desde entonces ha tenido varias adaptaciones y recintos, siendo el año de 1945 en el que fue creada por decreto oficial la Escuela Superior de Medicina Rural y finalmente en 1957 tuvo sus instalaciones propias, ya que en años previos había tenido que operar en instalaciones de otras Unidades Académicas del Instituto. En 1965 fue suprimido de su nombre el calificativo Rural y en lo sucesivo fue su nombre tal como actualmente se le conoce Escuela Superior de Medicina (ESM) y que es la Unidad Académica del IPN encargada de formar médicos cirujanos. (Fuente de referencia <https://www.esm.ipn.mx/conocenos/mision.html>)

Para cualquier estudiante de Medicina es fundamental y requisito conocer e interactuar con los sistemas del cuerpo humano, por ejemplo, para la enseñanza de la anatomía y de morfología es indispensable el uso de cuerpos para su disección y análisis.

Actualmente en la Escuela Superior de Medicina y Homeopatía y la Escuela Superior de Medicina, utilizan principalmente medios impresos tradicionales y uso de cuerpos como principales materiales y recursos para la enseñanza y aprendizaje.

El uso de cuerpos para su disección en la ESM tiene sus particularidades, por ejemplo, los costos inherentes al mantenimiento de los cuerpos en las instalaciones, frecuentemente se enfrenta el problema de que los cuerpos no son suficientes para la cantidad de alumnos en determinadas clases, algunas veces se deben de compartir los cuerpos con otras instituciones y cuando el cuerpo ya no puede seguir siendo utilizado se debe realizar su inhumación.

Hay además algunas problemáticas que ha enfrentado la ESM, como el mantenimiento óptimo de las instalaciones, particularmente relacionado a lo que se ha mencionado del uso de los cuerpos para exploración, del anfiteatro. Sobre esto a raíz del sismo de septiembre de 2017, se dañaron varios edificios así como el anfiteatro, en el caso de este último quedando inutilizable durante casi seis meses, lo cual

obligó a los docentes a reformular sus clases de morfología y anatomía usando presentaciones de diapositivas y algunos videos. Este tipo de problemas incide directamente en la parte práctica que debe realizar el estudiante de medicina, en este caso en particular, en el semestre siguiente el rendimiento de los estudiantes se vio disminuido a causa de la falta de práctica física con los cuerpos.

Teniendo conocimiento de este tipo de problemas y con la intención de crear una herramienta de software que utilizará la Realidad Virtual, en septiembre de 2018 se entrevistó al Dr. Rios Macias Jefe del Área de Morfología de la Escuela Superior de Medicina (ESM) del Instituto Politécnico Nacional (IPN) y comentó que “los medios que se utilizan para el estudio del cuerpo humano principalmente son impresos tradicionales, así como el uso de cuerpos para su disección y análisis posterior”. Derivado de las entrevistas realizadas, se sabe que, son muchos los subsistemas del cuerpo humano y que la creación de materiales distintos a los libros y materiales impresos, puede ser un área de oportunidad que ofrezca a los estudiantes una alternativa extra para explorar y reforzar sus conocimientos, aunque hasta ahora no es posible reemplazar la interacción de los estudiantes con el cuerpo humano real.^{1.2} Propuesta de Solución Considerando que son muchos los subsistemas que integran el cuerpo humano, se ha elegido el sistema digestivo. Por lo tanto, este documento presenta un prototipo de sistema de realidad virtual del sistema digestivo del cuerpo humano que permite interactuar con modelos tridimensionales de los órganos que lo conforman. La intención podría ser sentar un precedente de un sistema de apoyo al aprendizaje que favorezca la interacción práctica [1] de los estudiantes de la ESM.

1.2. Objetivos del Sistema

Analizar, diseñar, desarrollar y probar un prototipo de sistema que utiliza la tecnología de Realidad Virtual, para ofrecer una experiencia orientada al estudio de la anatomía y morfología del cuerpo humano, específicamente del sistema digestivo.

1.2.1. Objetivos Específicos

- Utilizar como insumo para la elaboración de los modelos, las referencias documentales y confiables que proporcionan los expertos del área de morfología de la ESM del IPN sobre el sistema digestivo.
- Elaboración de modelos en tres dimensiones del sistema digestivo humano
 - Glándulas Salivales
 - Cavidad Oral
 - Faringe
 - Esófago
 - Estómago
 - Intestino Delgado
 - Hígado
 - Páncreas
 - Vesícula Biliar
 - Intestino Grueso y Ano
- Diseñar y desarrollar

- Probar los componentes de software del sistema y realizar su interacción con los elementos de hardware que propiamente proporcionan el entorno de Realidad Virtual.

1.3. Revisión del Estado del Arte

A continuación se muestran algunos de trabajos académicos desarrollados en México y fueron comparados con el trabajo planeado. Como comparativa y de forma ilustrativa del sector académico.

1. TT No. 2014-A058 “Sistema para la orientación de los efectos sobre la espalda humana en pacientes con sobrepeso”[\[1\]](#)
2. TT No. 2012-B055 “Laboratorio Virtual del cuerpo humano 3D con asistente de ayuda en línea para el nivel superior bajo el paradigma de Educación Basada en Web con tecnologías de Web Semántica”[\[2\]](#)
3. TT No. 2014-B035 “Simulación en Tercera Dimensión del Sistema Circulatorio de los Cánidos para el uso Educativo”[\[3\]](#)
4. TT No. 2014-B039 “Simulación de una Línea del Metro con Realidad Virtual”[\[4\]](#)
5. Tesis que para optar por el grado de Maestro en Ciencia e Ingeniería de la Computación, Sistema de seguimiento de movimiento de las extremidades superiores basado en sensores iniciales para rehabilitación en realidad virtual.[\[5\]](#)
6. Adecuación educativa de la realidad virtual como herramienta didáctica para el proceso enseñanza-aprendizaje / tesis que para obtener el título de Licenciado en Pedagogía, presenta María de la O García Noriega; asesor Lucina Moreno Valle Suárez.[\[6\]](#)

Así mismo se ha encontrado software propietario desarrollado por empresas privadas los cuales son los siguientes.

- The Body VR: Anatomy Viewer es la única herramienta de visualización de Realidad Virtual disponible en el mercado que se basa en datos médicos específicos del paciente (por ejemplo, MRI, CT, PET) y cumple con los estándares DICOM. Proporciona simulaciones de R.V. anatómicas en tiempo real para visualizar diagnósticos médicos, ilustrar el impacto de los procedimientos y tratamientos, y crear una toma de decisiones más educada.



Figura 1.1: Software “The Body VR” en uso.

- Anatomyou VR: Estructuras anatómicas fotorrealistas, modeladas en colaboración con RenderArea, validadas por expertos clínicos y certificadas por personal capacitado en Tecnologías Médicas de la Universidad de Las Palmas de Gran Canaria.



Figura 1.2: Pancarta promocional de “Anatomyou VR”

- Biodigital Anatomy: El cuerpo tridimensional más completo, científicamente preciso e interactivo jamás ensamblado. Anatomía masculina y femenina, en los detalles básicos (gratuitos) y profesionales. Cada sistema está completamente segmentado, etiquetado y direccionable para una fácil configuración que satisface cualquier necesidad educativa.

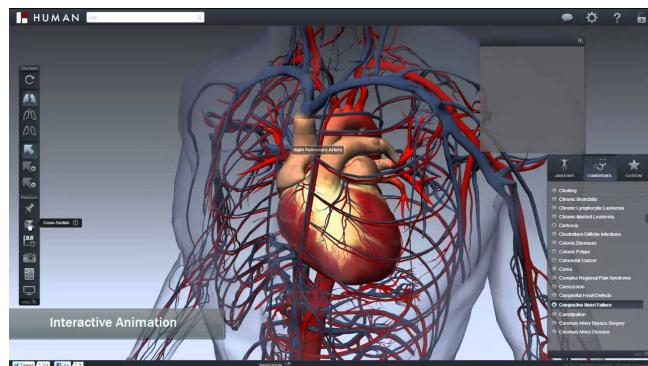


Figura 1.3: Interfaz del software de Biodigital Anatomy

- 3D Organon VR Anatom: 3D Organon es un completo atlas anatómico que presenta los 15 sistemas del cuerpo humano. Incluye más de 4,000 estructuras y órganos anatómicos realistas y más de 160 correlaciones clínicas encontradas por sistema del cuerpo.



Figura 1.4: Interfaz del software de 3D organon VR Anatom

1.4. Organización de capítulos

Este documento es el reporte técnico final del trabajo terminal titulado “Sistema de Realidad Virtual del Cuerpo Humano para el Estudio del Sistema Digestivo” con número de registro TT: 2019-A104.

En el **Capítulo I** se habla del problema identificado, por qué se considera como tal y cómo es que se ayudó a resolver el problema planteado mediante la ingeniería en sistemas computacionales. También se menciona que se obtiene al concluir con este trabajo terminal, tales como el prototipo del sistema.

En el **Capítulo II Marco Conceptual** se mostrarán todos los diagramas y documentos generados al analizar y generar un diseño del sistema que se estará desarrollando. Aquí se encuentra la arquitectura general del sistema, y los modelos gráficos de apoyo presentados en el Análisis Estructurado Moderno.

En el **Capítulo III Diseño** se describe el trabajo generado en el desarrollo del documento hasta el mes de mayo de 2020 para TT2.

En el **Capítulo IV Verificación y Pruebas** se muestran pruebas hechas sobre las implementaciones del sistema siguiendo un guión para la prueba.

En el **Capítulo V Conclusión** se muestran los resultados obtenidos y experiencias para mejorar el proceso, así como la vertiente para continuar con el trabajo y las conclusiones del integrante.

Finalmente, se encuentran las Referencias de todos los recursos empleados para dar soporte y estructura a este Trabajo Terminal, y en los apéndices se anexan elementos extra que dan información más detallada sobre lo que aquí fue realizado.

Capítulo 2

Marco Conceptual

2.1. Sistema Digestivo

El cuerpo humano es una estructura compleja y altamente organizada, formada por células que trabajan juntas para realizar funciones específicas necesarias para mantener la vida.^[33] La biología del cuerpo humano incluye:

- Fisiología (cómo funciona el cuerpo)
- Anatomía (cómo se estructura el cuerpo)

La anatomía está organizada por niveles, desde los componentes más pequeños de las células hasta los órganos más grandes, así como su relación con otros órganos.

La anatomía general estudia los órganos tal como aparecen a simple vista o en una disección del cuerpo.

La anatomía celular es el estudio de las células y sus componentes, los cuales pueden observarse solo con la ayuda de técnicas e instrumentos especiales como los microscopios.

La anatomía molecular (a menudo llamada biología molecular) estudia los componentes más pequeños de las células al nivel bioquímico.

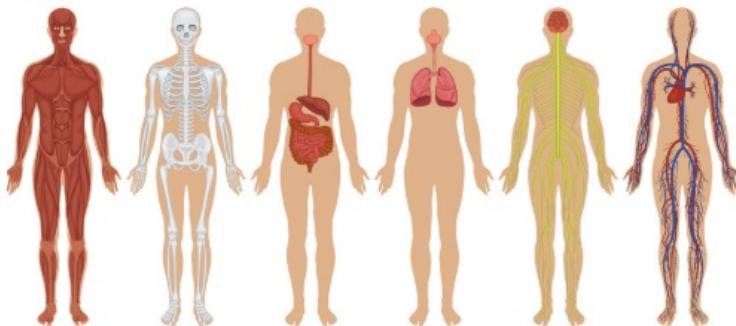


Figura 2.1: Gráfico ejemplificando los sistemas del cuerpo humano.^[7]

La cavidad abdominal es el espacio corporal que ocupa la región del abdomen, ubicada entre el diafragma y la abertura de la pelvis. Es la cavidad más grande del cuerpo humano y contiene los principales órganos del aparato digestivo, urinario y genital. Para su estudio y evaluación clínica en el

campo de la medicina, el abdomen debe ser dividido topográficamente de forma externa en 9 cuadrantes o regiones, utilizando cuatro líneas trazadas imaginariamente, dos verticales y dos horizontales.^[8]

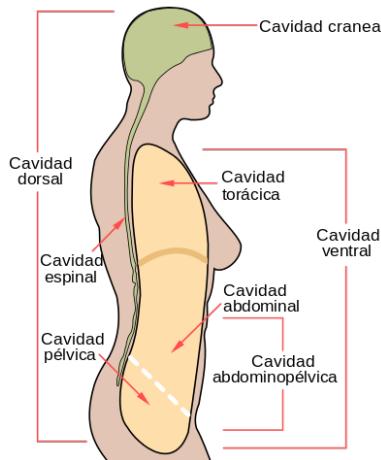


Figura 2.2: Diagrama que muestra las diferentes cavidades del cuerpo humano.

Ahora se presenta un resumen conceptual de los elementos que conforman a la cavidad abdominal, esto para tener claro cuales son los elementos que la componen el mismo para así tener en claro cómo se encuentra conformado y poseer un mayor entendimiento de los conceptos básicos.

Ahora se presenta un resumen conceptual de los elementos que conforman a la cavidad abdominal, esto para tener claro cuales son los elementos que la componen el mismo para así tener en claro cómo se encuentra conformado y poseer un mayor entendimiento de los conceptos básicos.

- El abdomen es la región que se encuentra entre el tórax y la pelvis. El diafragma separa las estructuras del tórax de las del abdomen.
- La abertura superior de la pelvis comunica la pelvis con la cavidad abdominal.
- La pared abdominal se encuentra compuesta por piel, tejido subcutáneo, planos musculares con sus aponeurosis y fascias y peritoneo parietal.
- La cavidad abdominal se encuentra integrada por la cavidad peritoneal, el retroperitoneo y las vísceras peritonizadas.
- La cavidad peritoneal se encuentra limitada por las láminas visceral y parietal del peritoneo.
- El retroperitoneo está integrado por todas las estructuras anatómicas que se encuentran por detrás de la lámina parietal posterior del peritoneo.
- La cavidad abdominal incluye estructuras pertenecientes a los sistemas digestivo, endocrino, vascular, nervioso y urinario.
- Las vísceras sólidas de la cavidad abdominal son el hígado, el bazo, el páncreas, los riñones y las glándulas suprarrenales.
- Las huecas son el tubo digestivo y las vías de excreción urinaria.

- El tubo digestivo abdominal está integrado por el esófago (porción abdominal), el estómago, el duodeno, el yeyuno, el ileon y las porciones del colon (ciego, apéndice vermiciforme, colon ascendente, transverso, descendente y sigmoide).
- El sistema vascular incluye las arterias ramas de la porción abdominal de la aorta, las venas tributarias de la cava inferior y la vena porta hepática y los linfáticos.
- La porción abdominal de la arteria aorta se extiende desde el hiato aórtico del diafragma y sus ramas terminales son las arterias ilíacas comunes. Se encuentra en situación prevertebral desplazada hacia la izquierda de la columna lumbar.
- La vena cava inferior se forma por la anastomosis de ambas ilíacas comunes y asciende en situación prevertebral desplazada a la derecha hasta el orificio de la vena cava en el diafragma.
- La vena porta hepática se forma detrás de la cabeza del páncreas por la anastomosis de las venas esplénica (que ya recibe como afluente a la vena mesentérica inferior) y mesentérica superior, y se dirige al hígado dentro del omento menor.
- Los troncos linfáticos de los miembros inferiores, la pelvis y el abdomen confluyen detrás de la cabeza del páncreas donde se origina el conducto torácico. Este asciende y atraviesa el diafragma por el hiato aórtico en dirección al tórax

Aunado a esto se incorporan todos los elementos del sistema digestivo, expuestos por el/los autores de los diferentes materiales en los cuales, pero no limitados a estos, se realizó la investigación del sistema, cabe mencionar que en algunas figuras que se muestran se incluyen elementos que no son parte de los componentes del sistema digestivo pero estos se incluyen en las figuras debido a que son parte de la cavidad abdominal, o en su defecto el órgano en el cual se está centrando el desarrollo del modelo se encuentra demasiado cerca de un órgano u órganos contiguos para ser incluido en la figura individualmente.

A continuación se muestra una representación del sistema digestivo, está contienen la información de cuáles son los órganos y elementos que lo conforman, estos serán varios ya que se han tomado como guía, estos elegidos mediante a una entrevista de estudiantes de medicina como material que se ha utilizado para el estudio del cuerpo humano, para la realización de modelos en 3D, asimismo, ejemplifica el material que dispone pero no limitado a el alumnado para el estudio del sistema en cuestión. Aunado a esto se incorporan la mayoría de los elementos del sistema digestivo los cuales se encuentran en la cavidad abdominal estos expuestos por autores de los diferentes materiales en los cuales, pero no limitados a estos, se realizó la investigación del sistema.



Figura 2.3: Órganos digestivos in situ (El epiplón mayor ha sido parcialmente eliminado o reflejado)[9]

2.2. Realidad Virtual

Algunos autores definen así la Realidad Virtual.

“La realidad virtual (RV) es una simulación tridimensional generada o asistida comúnmente por computadora de algún aspecto del mundo real o ficticio, en el cual el usuario tiene la sensación de pertenecer a ese ambiente sintético o interactuar con él”[10]

Corrado Padila Érica

“Realidad Virtual: gráficos 3D en entornos inmersivos que usan I/O artefactos como guantes, cascos, etc. en busca de mayores grados de iteración con el ambiente virtual”[11]

Lozano Miguel, Calderón

Realidad Virtual es una forma en que los seres humanos puedan visualizar, manipular e interactuar con las computadoras y datos extremadamente complejos”.[12]

Isdale, Jerry

“Un sistema interactivo capaz de crear una simulación que implique a varios de los sentidos del ser humano, generados por una computadora, explorable, visualizable y manipulable en tiempo real; este bajo la forma de imágenes y sonidos, estos, dando la sensación de presencia en el entorno generado”[13]

Levis, Diego

Esta última ha sido la definición que se ha tomado para el desarrollo del proyecto del trabajo terminal, asimismo se puede concluir que todos los autores coinciden en que la realidad virtual es un mundo simulado en el que el usuario puede interactuar en tiempo real por medio de dispositivos o computadoras que logran un efecto artificial e inmersivo en el que se pueden manipular objetos.

2.3. Realidad Virtual como Apoyo a la Enseñanza-Aprendizaje

2.4. Morfología

La morfología humana estudia las estructuras del cuerpo humano desde distintos puntos de vista: se encarga de revisar los aspectos macroscópicos; también forma parte de la morfología humana el estudio microscópico de los tejidos que lo conforman (histología) y también se incluye dentro del área de la morfología humana la forma en que se desarrollan los tejidos desde el momento de la concepción (desarrollo embrionario).

El estudio de la morfología humana sería entonces una integración de las disciplinas antes mencionadas. La anatomía es el área encargada de estudiar los aspectos macroscópicos de la estructura del cuerpo humano, como ya mencionamos, la Histología se encarga de revisar los aspectos microscópicos de los tejidos y la disciplina llamada Ontogenia, es la que se dedica a estudiar el origen y desarrollo de los tejidos y las estructuras desde las etapas embrionarias.

En muchos cursos donde las distintas disciplinas de la biología son una parte muy importante en la formación del alumno, las áreas que abarca la morfología humana se estudian por separado. En muchos cursos de medicina aparecen la Histología, Embriología y la Anatomía Humana como materias separadas.

El concepto antiguo sobre Morfología humana se refería simplemente al estudio de las formas y las estructuras del organismo humano. El concepto moderno de la Morfología humana comprende no sólo el estudio de las estructuras, sino también el modo en que éstas se desarrollan, la manera en que funcionan y cómo se relacionan con el medio.

Con el avance de los conocimientos científicos, las áreas abarcadas por la morfología se han ido expandiendo, y han surgido nuevas áreas relacionadas con la morfología, como por ejemplo la Anatomía patológica (que estudia cortes de tejidos, para determinar si son normales o presentan algún tipo de alteración).

Dentro de los métodos de investigación utilizados para estudiar la morfología humana, tenemos la disección de cadáveres, practicada desde los inicios de la Medicina, para conocer las estructuras del cuerpo humano. También se han practicado técnicas que incluyen la inyección de sustancias coloreadas en los vasos, conductos u órganos huecos. Otra técnica que ha permitido el avance en los conocimientos de la morfología humana es la inyección de líquidos solidificables, que al cambiar de estado proporcionan información sobre la forma del vaso u órgano hueco dentro del cual fue inyectado. Los rayos X y todas las técnicas imagenológicas desarrolladas en los últimos tiempos (tomografía axial computarizada, resonancia magnética, etc.) también han aportando importantes conocimientos en ésta área.

Desde el punto de vista microscópico, el desarrollo de distintas tecnologías (microscopía electrónica, de fluorescencia) ha colaborado también con la profundización de los conocimientos del área de la morfología humana.

Con este preámbulo

2.5. Modelado 3D

En general, independientemente de la disciplina, el proceso de modelado es una simplificación de un objeto para su posterior estudio o representación. Así, podemos hablar de modelos matemáticos que simplifican fenómenos físicos, o modelos meteorológicos para la predicción del tiempo atmosférico, etc. Un modelo geométrico define la información sobre la forma (geometría) de un determinado objeto. Las simplificaciones que se realicen en su definición vendrán determinadas por diferentes factores como el método de representación utilizado, operadores empleados o nivel de detalle.[\[14\]](#)

Se puede definir el proceso de modelado geométrico tridimensional como el encargado de crear modelos consistentes que puedan ser manejados algorítmicamente en un computador. Este proceso de construcción se aborda en diferentes etapas, partiendo típicamente de entidades básicas y aplicando una serie de operadores sobre ellas. Estas entidades básicas pueden ser primitivas geométricas (calculadas de forma algorítmica o mediante una ecuación matemática) u obtenidas mediante un dispositivo de captura (escáner 3D).

Existen multitud de técnicas de modelado 3D. En una primera taxonomía de alto nivel podemos hacer una categorización dependiendo de si el modelado se centra en definir únicamente las características del contorno del objeto, los siguientes son los más usados:

- **Modelado Sólido:** también conocidos como Geometría Sólida Constructiva (CSG Constructed Solid Geometry). Los modelos sólidos definen el volumen del objeto que representan, y en muchos casos indican incluso el centro de masas, la densidad del material interna, etc. Se utilizan en fabricación por computador y en aplicaciones médicas e industriales.
- **Modelado de Contorno:** también conocidos como Representación de Contorno (B-Rep - Boundary Representation). Los modelos de contorno únicamente representan la superficie límite del objeto (de forma conceptual, la "cáscara"). Son más fáciles de definir y modificar. Además, lo interesante para la representación del objeto es su apariencia exterior (en los casos donde interesa el interior simplemente se aproxima, como en el caso del SubSurfaceScattering). Prácticamente todos los paquetes de diseño y animación (incluido Blender) empleados en síntesis de imagen y en aplicaciones interactivas emplean este tipo de modelos.

Para cubrir las necesidades de los modelos 3D de los órganos del sistema digestivo se ha optado por que estos fueran realizados en el modelado de contorno por su facilidad de desarrollo y ligereza de carga en el renderizado en el momento de la implementación de estos en el sistema de realidad virtual.

2.6. Generación de Entorno 3D

El entorno 3D es donde el usuario se encontrará al ingresar al sistema de realidad virtual, para este se ha realizado para dar la sensación de encontrarse en un ambiente médico.

Se utilizaron modelos ya realizados por un autor adquiriendo los derechos de uso ya que la realización de estos no se consideran parte integral del desarrollo del Trabajo Terminal, escrito esto no se quiere demeritar la necesidad de hacer el usuario ya que, como se ha mencionado en secciones anteriores, se tiene énfasis en la experiencia del usuario para que la inmersión del usuario sea la mayor posible.

A continuación se muestran capturas del entorno 3D como fue implementado dentro el motor de desarrollo Unity.

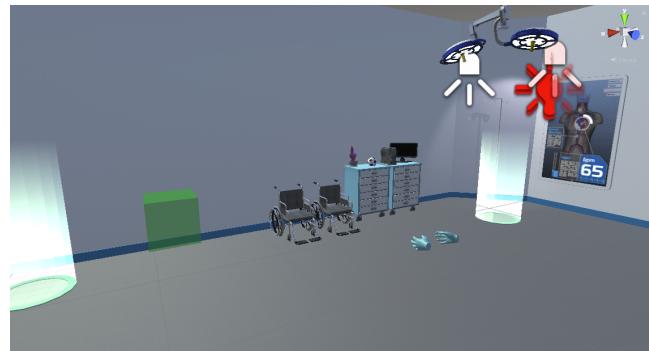


Figura 2.4: Entorno 3D vista normal

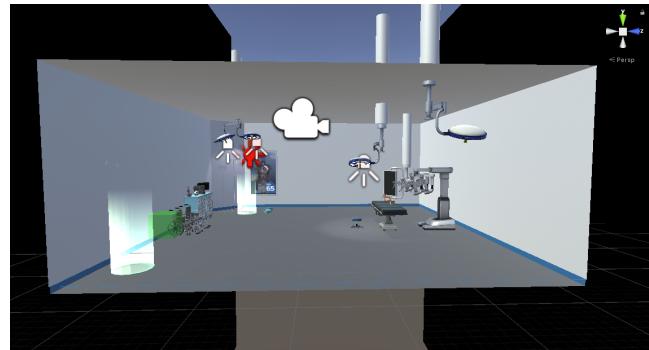


Figura 2.5: Entorno 3D vista externa de la escena

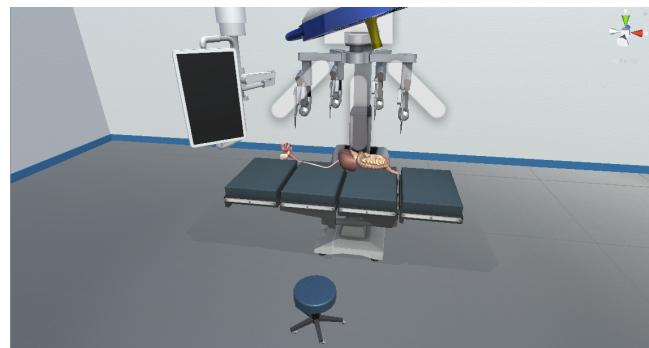


Figura 2.6: Entorno 3D vista principal

2.7. Modelos 3D de los Órganos

Los componentes multimedia a desarrollar en modelos 3D los cuales son miembros del sistema digestivo del ser humano, el sistema digestivo incluye a los órganos del tubo alimenticio y glándulas de secreción exocrina y endocrina.

2.7.1. Glándulas Salivales

A continuación se muestran las figuras del resultado final del desarrollo de las glándulas salivales del sistema digestivo en el software de modelado en 3D llamado “Blender”, este fue realizado basado en el material anteriormente provisto.



Figura 2.7: Modelo 3D de las glándulas salivales

2.7.2. Cavidad oral y faringe

A continuación se muestran las figuras del resultado final del desarrollo de la cavidad oral del sistema digestivo en el software de modelado en 3D llamado “Blender”, este fue realizado basado en el material anteriormente provisto.

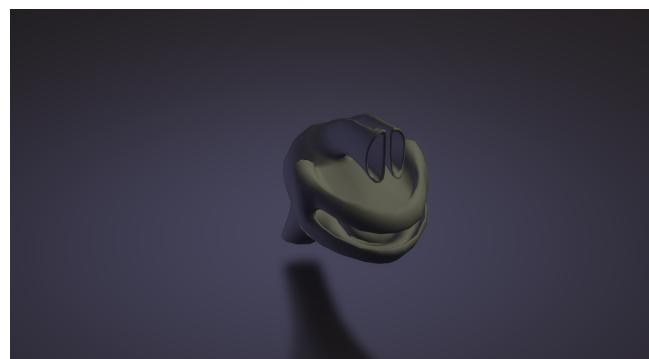


Figura 2.8: Modelo 3D de la cavidad oral

2.7.3. Esófago

A continuación se muestran las figuras del resultado final del desarrollo del esófago del sistema digestivo en el software de modelado en 3D llamado “Blender”, este fue realizado basado en el material anteriormente provisto.

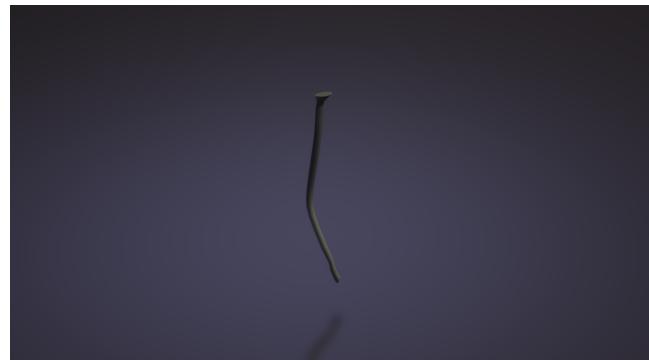


Figura 2.9: Modelo 3D del esófago

2.7.4. Estómago

A continuación se muestran las figuras del resultado final del desarrollo del estómago del sistema digestivo en el software de modelado en 3D llamado “Blender”, este fue realizado basado en el material anteriormente provisto.

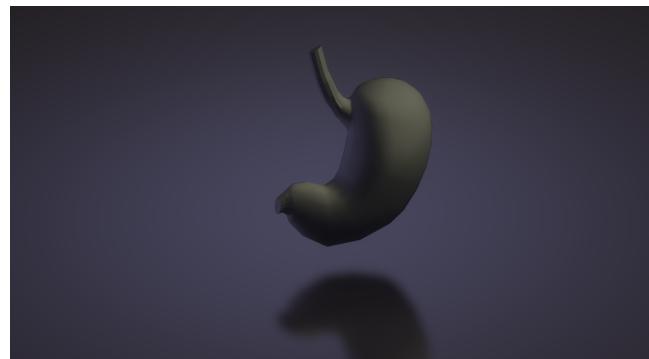


Figura 2.10: Modelo 3D del estómago

2.7.5. Intestino delgado

A continuación se muestran las figuras del resultado final del desarrollo del intestino delgado del sistema digestivo en el software de modelado en 3D llamado “Blender”, este fue realizado basado en el material anteriormente provisto.



Figura 2.11: Modelo 3D del intestino delgado

2.7.6. Hígado

A continuación se muestran las figuras del resultado final del desarrollo del hígado del sistema digestivo en el software de modelado en 3D llamado “Blender”, este fue realizado basado en el material anteriormente provisto.



Figura 2.12: Modelo 3D del hígado

2.7.7. Páncreas

A continuación se muestran las figuras del resultado final del desarrollo del páncreas del sistema digestivo en el software de modelado en 3D llamado “Blender”, este fue realizado basado en el material anteriormente provisto.



Figura 2.13: Modelo 3D del páncreas

2.7.8. Vesícula Biliar

A continuación se muestran las figuras del resultado final del desarrollo de la vesícula biliar del sistema digestivo en el software de modelado en 3D llamado “Blender”, este fue realizado basado en el material anteriormente provisto.



Figura 2.14: Modelo 3D de la vesícula biliar

2.7.9. Intestino Grueso y Ano

A continuación se muestran las figuras del resultado final del desarrollo del intestino grueso y ano del sistema digestivo en el software de modelado en 3D llamado “Blender”, este fue realizado basado en el material anteriormente provisto.

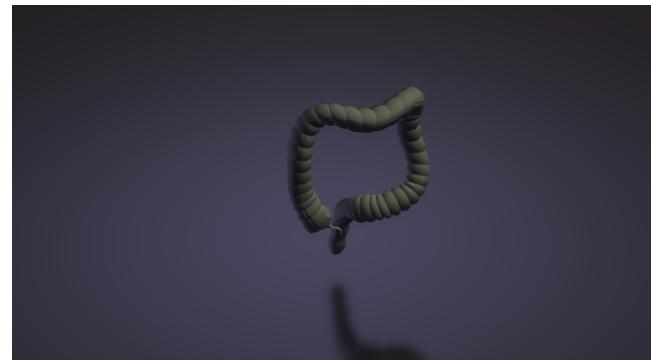


Figura 2.15: Modelo 3D del intestino grueso

2.8. Modelo del sistema digestivo unificado

A continuación se muestran las figuras del resultado final del desarrollo del sistema digestivo en el software de modelado en 3D llamado “Blender”, este fue realizado reuniendo todos los modelos de órganos y elementos individuales creados con anterioridad.



Figura 2.16: Modelo 3D del Sistema digestivo

2.9. Evaluación de modelos 3D por personal calificado

Debido al tiempo de desarrollo, el cual tomó más de lo planteado, de los modelos antes expuestos en la sección anterior no fue posible concretar una cita para su evaluación con el personal calificado

de la Escuela Superior de Medicina en las fechas previamente planteadas.

Se esperaba poder tener una reunión en fechas posteriores pero la situación epidémica que se ha desarrollado en el país y limitaciones impuestas por las autoridades hicieron imposible la evaluación de los modelos desarrollados.

Esto no significa que no se haya hecho bajo rigor alguno, sólo se utilizaron materiales de medicina impresos, así como referencias en video de disecciones del sistema digestivo, esto para estar lo más familiarizado posible, como estudiante de ingeniería en sistemas computacionales, al momento de desarrollar dichos modelos.

Capítulo 3

Solución Propuesta

3.1. Propuesta de Solución

Se elaboró un sistema de realidad virtual del sistema digestivo del cuerpo humano que permite interactuar con modelos tridimensionales. La intención es sentar las bases para un sistema de apoyo al aprendizaje que sea más práctico [15], sin sustituir a ningún método de estudio tradicional.

3.2. Viabilidad

También se analizó la factibilidad del proyecto en general. Desde el punto de vista técnico se realizó una evaluación de la tecnología actual existente y la posibilidad de utilizarla en el desarrollo del sistema. Además de DirectX versión 11 el cuadro 3.1 muestra los recursos técnicos necesarios para la ejecución correcta del software:

Cantidad	Recursos	Características
1	Computadora Personal de Escritorio	Tarjeta gráfica discreta, RX480 Memoria RAM 16 Gb 5 Puertos USB Procesador de 4 núcleos o mayor
1	Sistema de realidad Virtual Oculus Rift	Visor HMD, controles Touch Sensores Touch.

Cuadro 3.1: Recursos Técnicos.

Económicamente, se determinaron los recursos para desarrollar el sistema así como la comparativa con el uso de cuerpos para su examinación y estudio. Después de un análisis e investigación de los costos con la dirección del Área de Morfología en la Escuela Superior de Medicina bajo la asesoría del Dr. Macias Rios se determinó que el costo que se tiene para el traslado, mantenimiento, uso e inhumación de los cuerpos es de \$40,000.00 c/u, como se ve en el cuadro 3.2.

Costo de uso de cuerpos.	
Traslado, mantenimiento, uso e inhumación	\$40,000.00 c/u
Total	\$40,000.00 c/u

Cuadro 3.2: Costo de cálculo de uso de cuerpos.

En el caso del desarrollo e implementación del proyecto se consideró la depreciación, como se observa en el cuadro 3.3.

Depreciaciones del Proyecto								
Equipos de Cómputo				Depreciación				
Cantidad	Equipos	Monto original de Inversión	Valor actual del equipo	Valor a depreciar	% anual	% mensual	Depreciación mensual	Depreciación anual
1	Computadora de escritorio armada	\$25,054.63	\$20,000.00	\$5,054.63	33.33 %	2.78 %	\$ 140.52	\$ 1,545.72
1	Laptop HP	\$9,999.00	\$6,999.00	\$3,000.00	33.33 %	2.78 %	\$ 83.40	\$ 917.40
				Total:		\$ 2,463.12		

Cuadro 3.3: Depreciaciones del proyecto.

Para ofrecer una experiencia aceptable al momento del uso del equipo de Realidad Virtual y el software se proponen los elementos del cuadro ???. Pendiente tabla costos

Además, el sistema de Realidad Virtual con sus componentes tiene un costo que se muestra en el cuadro 3.4.

Sistema de Realidad Virtual	
Producto	Producto
Visor Oculus Rift	Incluido en el paquete
Controles Touch Oculus x 2	Incluido en el paquete
Sensores Oculus x 2	Incluido en el paquete
Anexos	Incluido en el paquete
Total:	\$ 8,821.74

Cuadro 3.4: Costos y contenido del sistema de Realidad Virtual.

Se estimaron los sueldos de programador y modelado, como se observa en el cuadro 3.5.

Sueldos				
Puesto	Sueldo Mensual individual	Cantidad de personal	Sueldos mensuales totales	6 meses
Programador	\$25,296.00	1	\$25,296.00	\$151,776.00
Modelador 3D	\$25,296.00	1	\$25,296.00	\$151,776.00
Total				\$303,522.00

Cuadro 3.5: Cálculo de Sueldos.

Servicios		
Concepto	Mensual	11 Meses
Luz (kw Consumidos por costo Unitario)	\$430	\$4,730
Agua (Lt consumidos por costo unitario)	\$200	\$2,200
Teléfono e Internet (renta mensual fija)	\$ 450	\$4,850
Total:		\$11,780

Cuadro 3.6: Cálculo de Costo por Servicios.

Los servicios estimados se muestran en el cuadro 3.6 y en el cuadro 3.7 se muestra la suma total y como resultado se obtiene el costo total del proyecto, que se estima en: \$326,316.86.

Costos del Proyecto	
Concepto	Costo
Servicios	\$ 11,780
Sueldos	\$303,522.00
Depreciaciones	\$2,463.12
Equipo extra.	\$ 8,821.74
Total	\$ 326,316.86

Cuadro 3.7: Costos finales del proyecto

En resumen, el costo de usar nueve cuerpos sería de \$360,000.00 y el del proyecto de \$326,318.00, con lo cual se puede considerar viable económicoamente.

Capítulo 4

Pruebas Experimentales

4.1. Mecanismos de medición para la fase de pruebas

Para este trabajo se realizaron dos tipos de prueba: pruebas de experiencia de usuario mediante las cuales, se busca obtener retroalimentación por parte de potenciales usuarios, de manera que el desarrollador pueda identificar errores y/o posibles cambios que pudieran hacerse al producto.

Como mecanismo de medición para las pruebas de experiencia de usuario, se emplea el método de validación de la metodología de Design Sprint de Google ® Ventures[16]. El proceso de validación se compone de dos partes:

1. Pruebas de usuario.
2. Retroalimentación de los stakeholders.

Después de la finalización del prototipo se procede a realizar pruebas. Una simple prueba de usuario permite descubrir información valiosa rápidamente. Ayuda a responder preguntas como ¿Qué es lo que los usuarios disfrutan o no gustan del prototipo? ¿Qué les gustaría que mejorara?

Después se continúa con la validación de los interesados o accionistas (stakeholders). Estas personas son el director de la Escuela Superior de Medicina, profesores del área de morfología y los alumnos de la misma.

Para motivos de este trabajo y los tiempos que se viven, el stakeholder será el mismo estudiante que presenta este trabajo, ya que resulta imposible hacer pruebas con los usuarios potenciales debido a la situación de epidemia nacional por el virus SARS-COV-2.

De igual forma se tomará en cuenta la retroalimentación de los sinodales y directores del proyecto mismo. Así, la revisión y aprobación de estos es esencial para que la validación se considere exitosa.

4.2. Pruebas de Entorno 3D con headset de R.V.

A continuación, se mostrarán las pruebas no automatizadas realizadas a las características, cada prueba está relacionada a un feature o features específicos, los cuales fueron probados conforme fueron desarrollados bajo el flujo de trabajo Git Flow[17].

Se detalla que es lo que se espera conseguir y bajo qué condiciones se consigue este objetivo, así como se indica si la característica ha pasado la prueba o la ha fallado. Así mismo se incluyen capturas de pantallas que muestran el funcionamiento de la característica y observaciones particulares a la prueba, indicando según lo requiera detalles de implementación o configuración.

4.2.1. Configuración de entradas

- **id de Develop Realizados**

- 1

- **Descripción de la Prueba**

- Configurar la entrada de movimiento de los controles Oculus Touch ®.

- **Condiciones de la Prueba**

- El usuario, desde una posición inicial, realiza el movimiento del control izquierdo y derecho, uno a la vez, en el espacio en tres dimensiones moviéndose en los tres ejes X, Y y Z. Recibiendo el movimiento de los mismos y este será mostrado dentro del HMD, demostrado por el placeholder de ambos controles.

- **Observaciones**

- A pesar de que aún no se utilizan todos los entradas que ofrece el control Oculus Touch ® el rastreo de los controles en el espacio funciona correctamente, esto nos sirve para desarrollar a futuro las siguientes características adicionales.

A continuación se muestra la exemplificación de el movimiento que se realiza y el cual es mostrado posteriormente dentro del sistema.

- **Estado**

- Aprobado

- **Capturas de Pantalla**

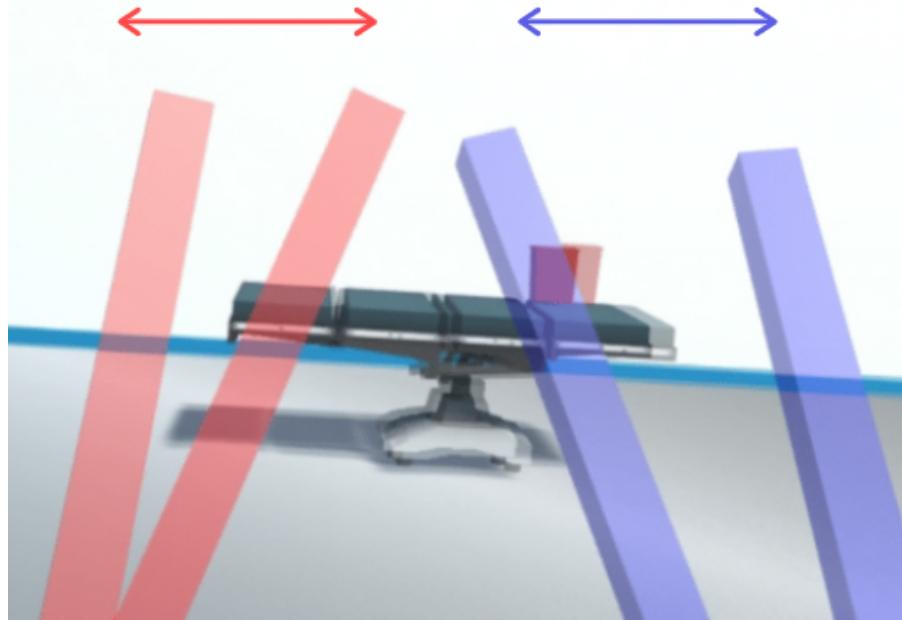


Figura 4.1: Placeholders con forma de prismas rectangulares representando y mostrando el movimiento de las manos con los controles Oculus Touch.

4.2.2. Teleportación

- **id de Develop Realizados**

- 2

- **Descripción de la Prueba**

- Prueba de en la cual el sistema es capaz de emitir una curva indicadora que emana desde el placeholder del usuario hacia un destino requerido por el mismo.

- **Condiciones de la Prueba**

- El usuario, desde una posición inicial, toca el stick de cualquier control y realiza el movimiento del control izquierdo o derecho, uno a la vez, dirigiendo el arco de indicación de localización de teleportación en el espacio en tres dimensiones moviéndose en los tres ejes X, Y y Z, moviendo este hacia el lugar deseado dentro del entorno 3D y al dejar de tocarlo este deberá de desaparecer inmediatamente. Este será mostrado por el HMD, demostrando la capacidad de realizar la llamada de estos elementos.

- **Observaciones**

- Al tocar el stick de cualquiera de los controles se emite una curva para determinar una próxima función de teleportación, el arco creado es claro y útil para determinar la localización y este se mueve dependiendo de la distancia y ángulo en el cual sea invocado. Puede que sea poco necesario que el usuario pueda utilizar ambos controles para la misma función.

- **Estado**

- Aprobado

■ Capturas de Pantalla

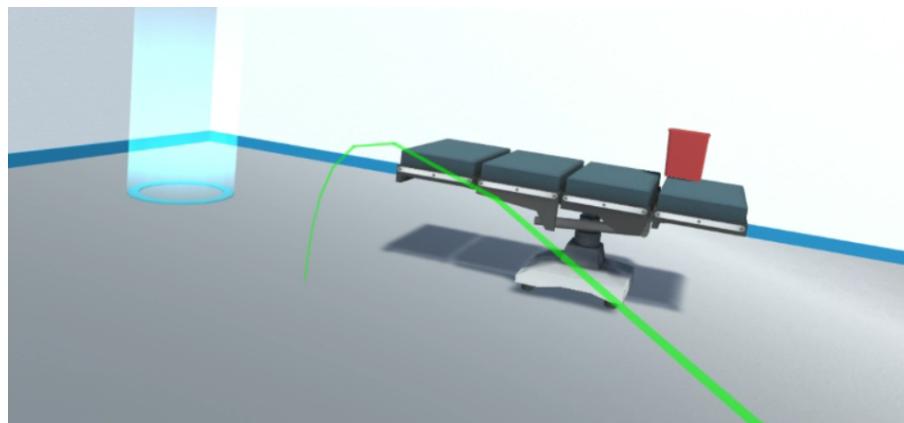


Figura 4.2: Línea verde indicadora desde el placeholder hacia un punto en el entorno virtual(Simulando una trayectoria)

■ id de Develop Realizados

- 3

■ Descripción de la Prueba

- Prueba de la capacidad de que el sistema permite el movimiento dentro del entorno virtual mediante teleportación.

■ Condiciones de la Prueba

- El usuario, desde una posición inicial, toca el stick de cualquier control y realiza el movimiento del control izquierdo o derecho, uno a la vez, dirigiendo el arco de indicación de localización de teleportación en el espacio en tres dimensiones moviéndose en los tres ejes X, Y y Z, indicando la localización hacia la cual desea y presionando el stick respectivo para realizar la acción de teleportación. Recibiendo el movimiento de los mismos y este será mostrado dentro del HMD, demostrado por la nueva ubicación en el entorno virtual.

■ Observaciones

- Ya se utilizan más entradas del control Oculus Touch ® estas pueden llegar a no ser tan intuitivas y presentar dificultades de ejecución para el usuario. La curva indicando la dirección y la posterior reubicación de del usuario en la ubicación previamente elegida por el mismo.

■ Estado

- Aprobado

■ Capturas de Pantalla

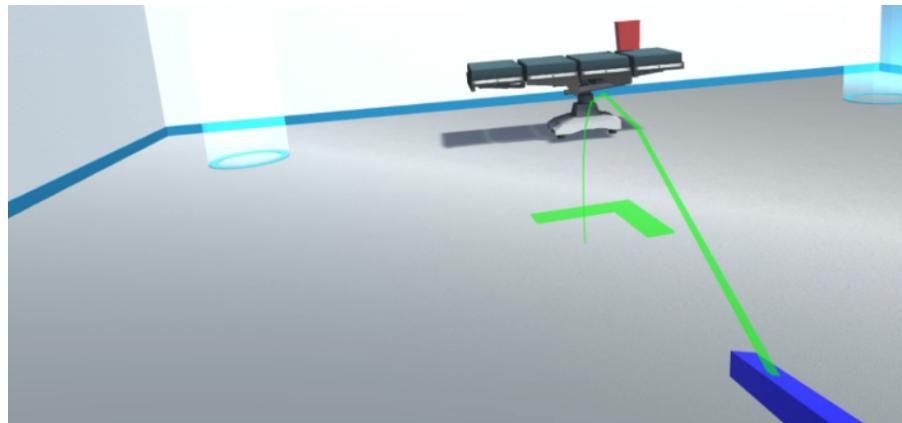


Figura 4.3: Uso de la curva indicadora para especificar un lugar y una orientación hacia donde se teleportará el usuario.

- **id de Develop Realizados**

- 3

- **Descripción de la Prueba**

- Prueba de la capacidad de que el sistema permite el movimiento dentro del entorno virtual mediante teleportación.

- **Condiciones de la Prueba**

- El usuario, desde una posición inicial, toca el stick de cualquier control y realiza el movimiento del control izquierdo o derecho, uno a la vez, dirigiendo el arco de indicación de localización de teleportación en el espacio en tres dimensiones moviéndose en los tres ejes X, Y y Z, indicando la localización hacia la cual desea y presionando el stick respectivo para realizar la acción de teleportación. Recibiendo el movimiento de los mismos y este será mostrado dentro del HMD, demostrado por la nueva ubicación en el entorno virtual.

- **Observaciones**

- Ya se utilizan más entradas del control Oculus Touch ® estas pueden llegar a no ser tan intuitivas y presentar dificultades de ejecución para el usuario. La curva indicando la dirección y la posterior reubicación de del usuario en la ubicación previamente elegida por el mismo.

- **Estado**

- Aprobado

- **Capturas de Pantalla**

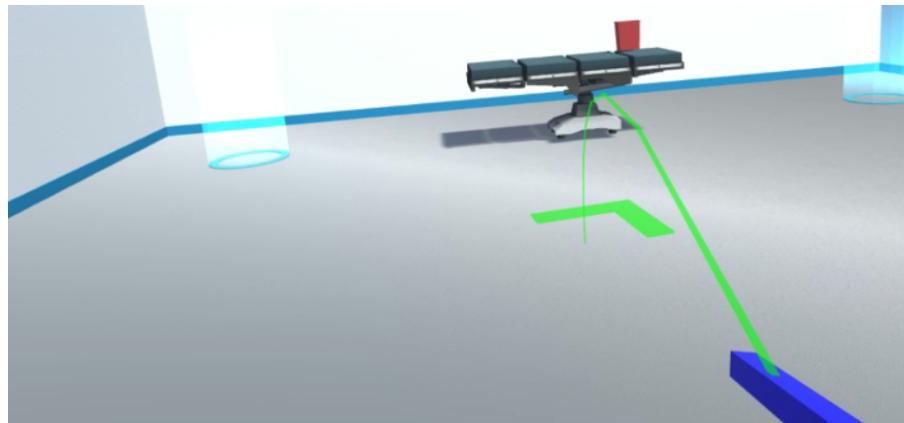


Figura 4.4: Uso de la curva indicadora para especificar un lugar y una orientación hacia donde se teleportará el usuario.

- **id de Develop Realizados**

- 4

- **Descripción de la Prueba**

- El usuario puede elegir la dirección en la cual desea reaparecer después invocar la teleportación, esto será indicado mediante una flecha la cual hará referencia a la dirección la cual el usuario habrá determinado anteriormente.

- **Condiciones de la Prueba**

- El usuario, desde una posición inicial, toca el stick de cualquier control y realiza el movimiento del control izquierdo o derecho, uno a la vez, dirigiendo el arco de indicación de localización de teleportación en el espacio en tres dimensiones moviéndose en los tres ejes X, Y y Z, indicando la localización hacia la cual desea, posteriormente moviendo el stick en los ejes X y Z para elegir la dirección en la cual quiere mirar al determinar el proceso de teleportación, posteriormente soltando el stick respectivo para realizar la acción de teleportación. Recibiendo el movimiento de los mismos y este será mostrado dentro del HMD, demostrado por la nueva ubicación y dirección en el entorno virtual.

- **Observaciones**

- Se ha actualizado la manera de interactuar con el proceso de teleportación, así este se pretende que sea más intuitivo para el usuario reduciendo la capacidad de movimientos posibles y agregando controles que ayudan a la inmersión en el entorno virtual.

- **Estado**

- Aprobado

- **Capturas de Pantalla**

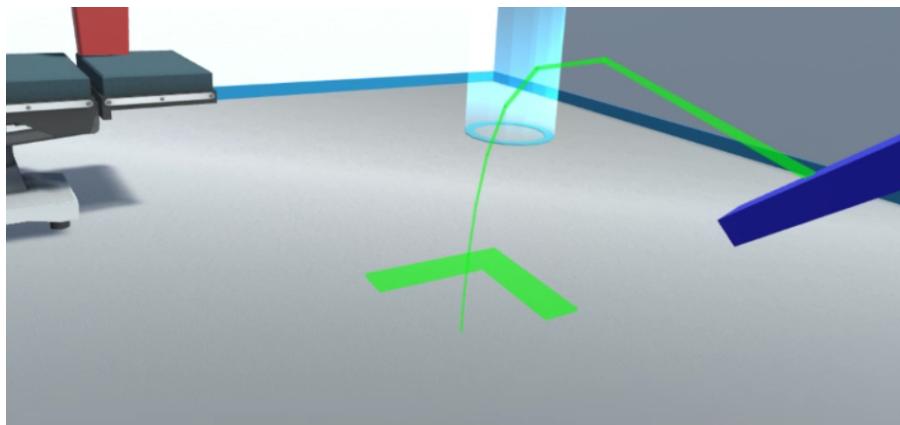


Figura 4.5: Flecha verde en el punto de teleportación, indicadora de la dirección hacia donde estará orientado el usuario una vez teletransportado.

- **id de Develop Realizados**

- 5

- **Descripción de la Prueba**

- Funcionamiento correcto de puntos de teleportación.

- **Condiciones de la Prueba**

- El usuario, desde una posición inicial, toca el stick de cualquier control y realiza el movimiento del control izquierdo o derecho, uno a la vez, dirigiendo el arco de indicación de localización de teleportación en el espacio en tres dimensiones moviéndose en los tres ejes X, Y y Z, indicando la localización hacia la cual punto de teleportación desea, posteriormente moviendo el stick en los ejes X y Z para elegir la dirección en la cual quiere mirar al determinar el proceso de teleportación, posteriormente presionando el stick respectivo para realizar la acción de teleportación. Recibiendo el movimiento de los mismos y este será mostrado dentro del HMD, demostrado por la nueva ubicación y dirección en el entorno virtual.

- **Observaciones**

- Se ha actualizado la manera de interactuar con el proceso de teleportación, así este se pretende que sea más intuitivo para el usuario reduciendo la capacidad de movimientos posibles y agregando controles que ayudan a la inmersión en el entorno virtual. La utilidad de los puntos de teleportación y su uso depende del diseño que haya disponible en el entorno virtual, estos pueden resultar muy beneficioso en el momento de resaltar un lugar el cual se quiere que el usuario se acerque para que realice una situación específica en el sitio de interés.

- **Estado**

- Aprobado

- **Capturas de Pantalla**

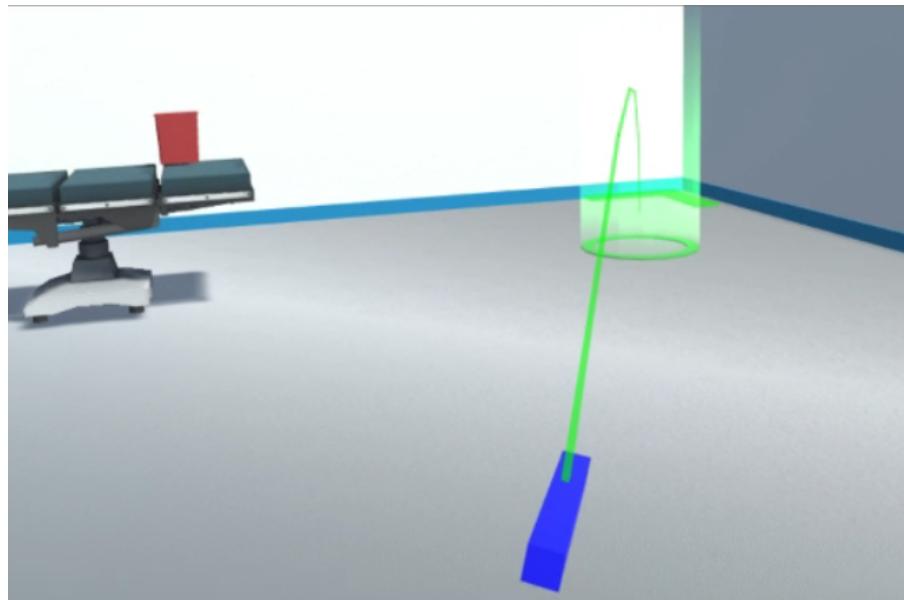


Figura 4.6: Punto de teleportación marcando un lugar específico y preestablecido hacia donde se teleportará.

- **id de Develop Realizados**

- 6

- **Descripción de la Prueba**

- El usuario puede cambiar de dirección de orientación sin la necesidad de realizar una teleportación.

- **Condiciones de la Prueba**

- El usuario, desde una posición inicial, mueve el stick del control izquierdo en los ejes X y Z recibiendo el movimiento del mismos y este será mostrado dentro del HMD generando una pequeña alteración de orientación en los ejes antes mencionados.

- **Observaciones**

-

- **Estado**

- Aprobado

- **Capturas de Pantalla**

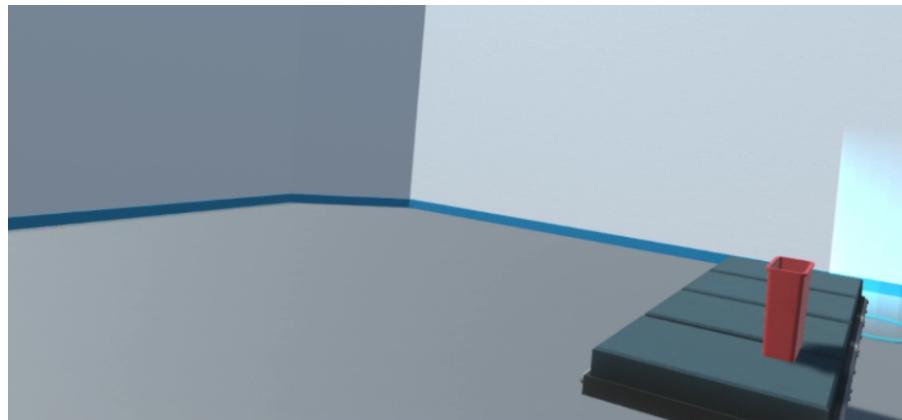


Figura 4.7: Vista descriptiva hacia una orientación en específico.

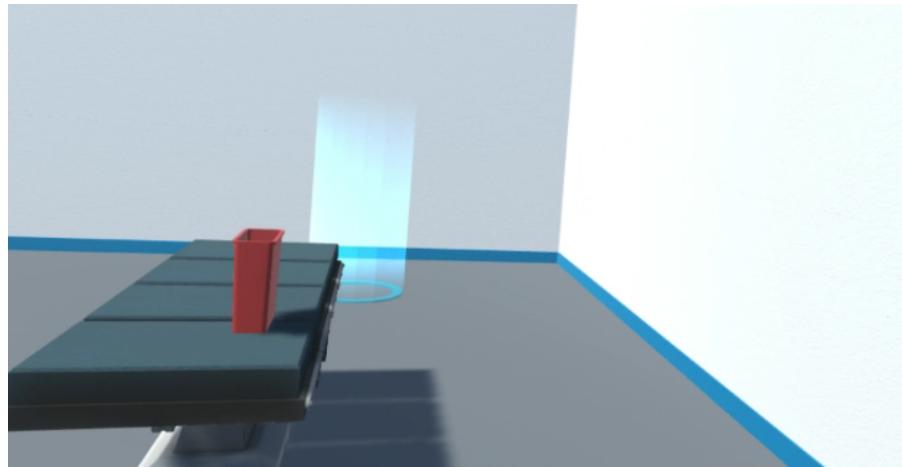


Figura 4.8: Vista descriptiva de un cambio de orientación respecto a la imagen anterior. Sin necesidad de teleportarse.

- **id de Develop Realizados**

- 7

- **Descripción de la Prueba**

- El usuario no es capaz de introducirse en el entorno virtual en lugares no admitidos por el programa, así como permite.

- **Condiciones de la Prueba**

- El usuario, después de haberse desplazado de una posición inicial, con los comandos anteriormente mencionados intenta explorar fuera del entorno virtual “exponiendo” su cabeza fuera de los límites del entorno designado, lo cual causará una oclusión del entorno para evitar que este pueda salir del área designada. Asimismo con objetos en los cuales queremos que pueda ver a través de ellos quedan exentos de las limitaciones anteriores.

- **Observaciones**

-

- **Estado**

- Aprobado

- **Capturas de Pantalla**

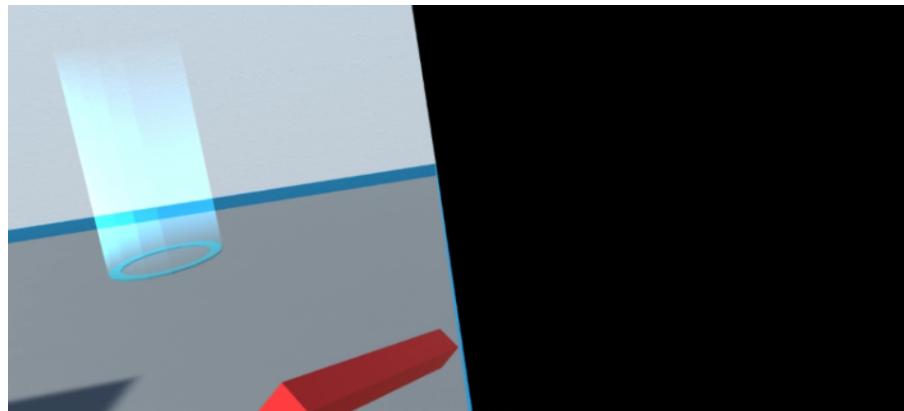


Figura 4.9: Vista descriptiva del impedimento hacia afuera del entorno virtual admitido.

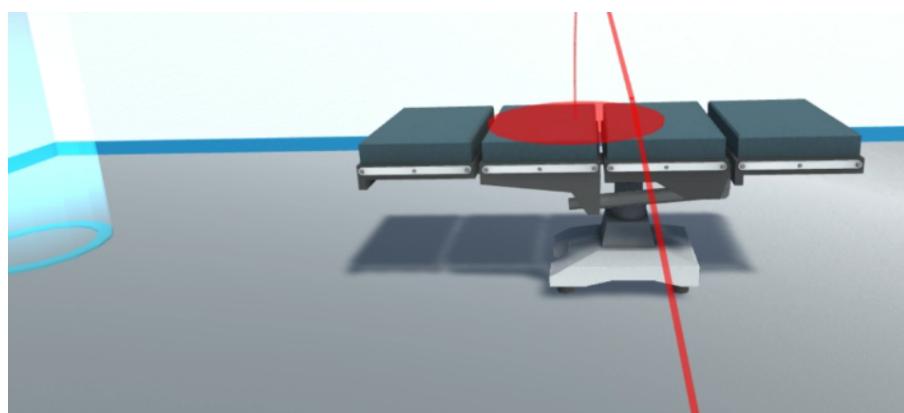


Figura 4.10: Punto rojo sobre una superficie no permitida en el entorno virtual, impidiendo la tele-portación.

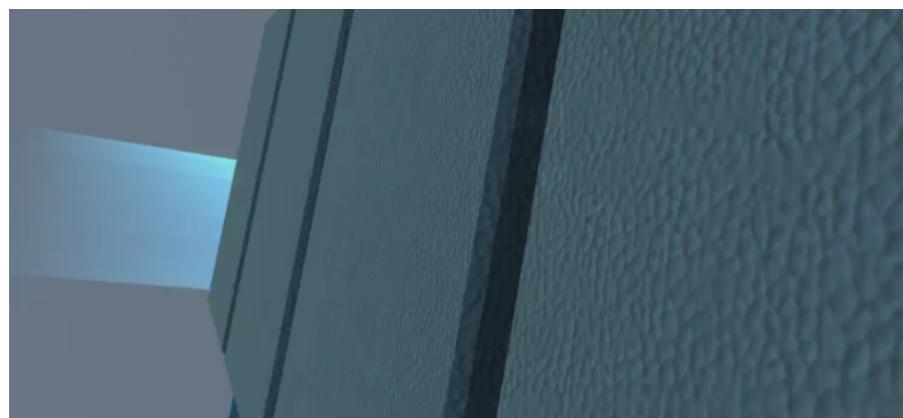


Figura 4.11: Vista del usuario antes de intentar introducirse a un entorno virtual no permitido.

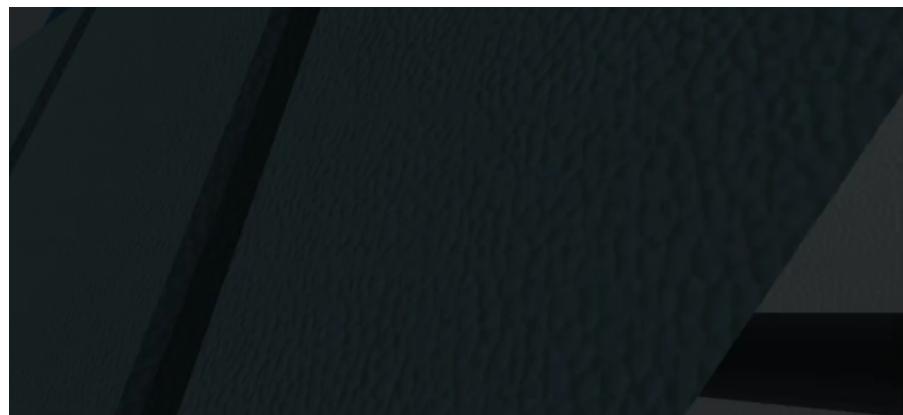


Figura 4.12: Vista del usuario intentando introducirse a un entorno virtual no permitido. La vista se empieza a oscurecer.



Figura 4.13: Vista del usuario introduciéndose en un entorno virtual no permitido, la vista está completamente oscura

4.3. Presencia e interacción de manos

- **id de Develop Realizados**

- 8

- **Descripción de la Prueba**

- El usuario es capaz de realizar los movimientos permitidos de las manos haciendo uso de los botones y sensores de los controles.

- **Condiciones de la Prueba**

- Los modelos virtuales de las manos imitan los movimientos que son realizados al tomar los controles e interactuar con los sensores y botones de los mismos, estos son limitados pero las acciones asemeja el movimiento de la mano de manera consistente e interactiva. Acciones como señalar, tomar, saludar, levantar dedos están incluidas dentro de este y son apreciadas por el usuario en el HMD en cuanto estas acciones son realizadas.

- **Observaciones**

- Los movimientos se encuentran limitados a las capacidades del control mismo, aunque comparados con interacciones "antiguas" de realidad virtual, estas proveen una experiencia de inmersión más real dentro del sistema de realidad virtual.

- **Estado**

- Aprobado

- **Capturas de Pantalla**

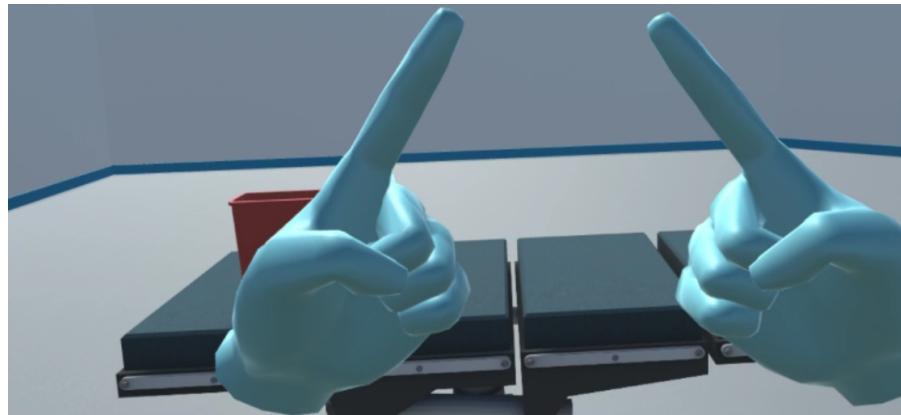


Figura 4.14: Modelo de manos, mostrando cómo se alza el dedo índice cuando el usuario lo hace a través de los sensores y botones del control.

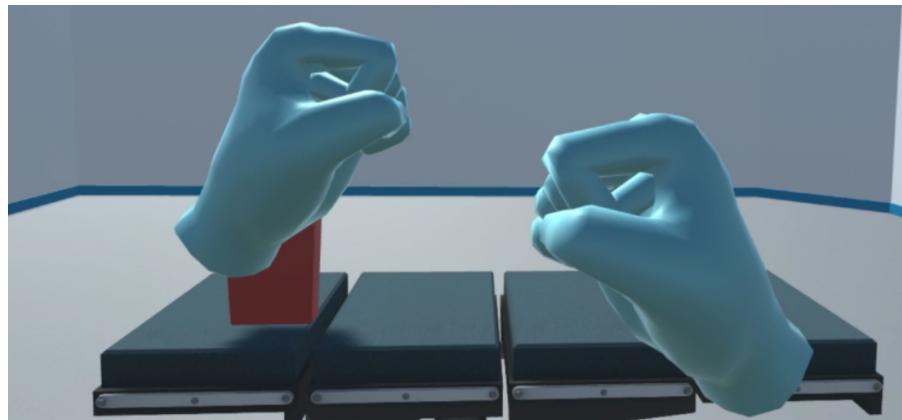


Figura 4.15: Modelo de manos, mostrando la mano cerrada cuando el usuario lo hace a través de los sensores y botones del control.

4.3.1. Interactuando con entorno

- **id de Develop Realizados**

- 9

- **Descripción de la Prueba**

- El usuario es capaz de tomar objetivos específicos designados como pruebas de entorno con las manos.

- **Condiciones de la Prueba**

- Al acercarse a un objeto de prueba específico el usuario es capaz de tomarlos e inspeccionarlos. Al tomarlo debe de ser capaz de dejar el objeto en un lugar diferente del cual fue tomado.

- **Observaciones**

- Las características de un objeto, entiéndase, que este pueda ser interactuado con las manos virtuales pueden ser transferidas a más modelos 3D lo cual nos da la libertad de interacción con una mayor cantidad de objetos. La prueba fue realizada exitosamente.

- **Estado**

- Aprobado

- **Capturas de Pantalla**

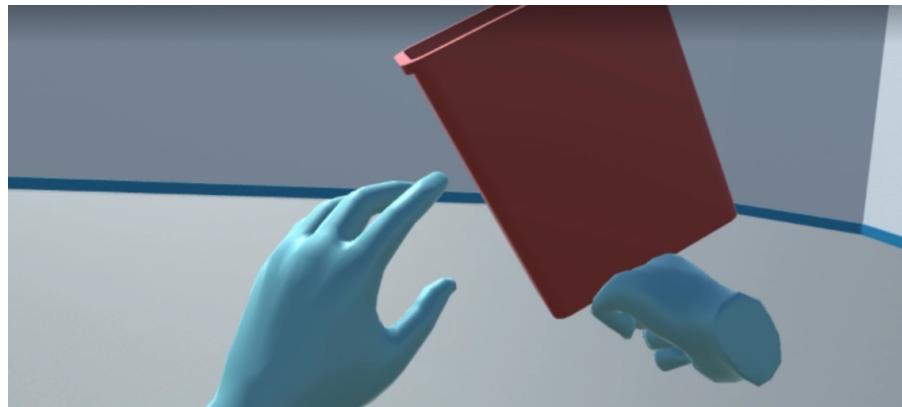


Figura 4.16: Previo a la toma de un objeto

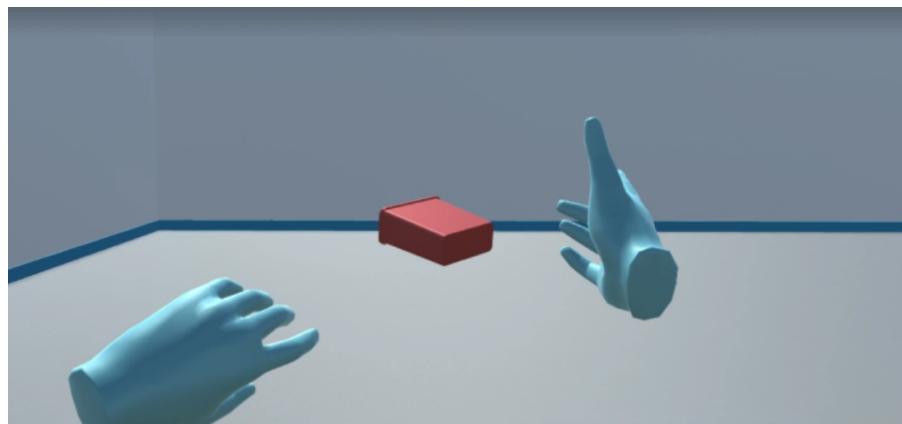


Figura 4.17: Toma de un objeto antes y después de lanzarlo

4.3.2. Interacciones manuales adicionales

- **id de Develop Realizados**

- 10

- **Descripción de la Prueba**

- El usuario es capaz de cambiar de manos el objeto que se tiene tomado y de arrojar el mismo para proveer una experiencia más interactiva dentro del entorno virtual.

- **Condiciones de la Prueba**

- El usuario debe de tomar un objeto interactivo con una mano y después de esto cambiará de mano el objeto, posteriormente dejará el objeto y lo tomará de nuevo con la mano y lo arrojará frente a él.

- **Observaciones**

- Las características de un objeto, entiéndase, que este pueda ser interactuado con las manos virtuales pueden ser transferidas a más modelos 3D lo cual nos da la libertad de interacción con una mayor cantidad de objetos.

- **Estado**

- Aprobado

- **Capturas de Pantalla**

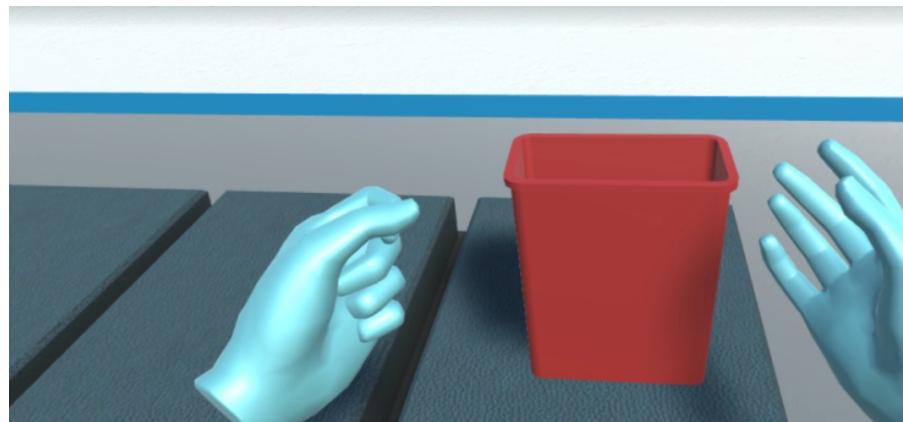


Figura 4.18: Muestra las manos y un objeto antes de ser tomado por las manos

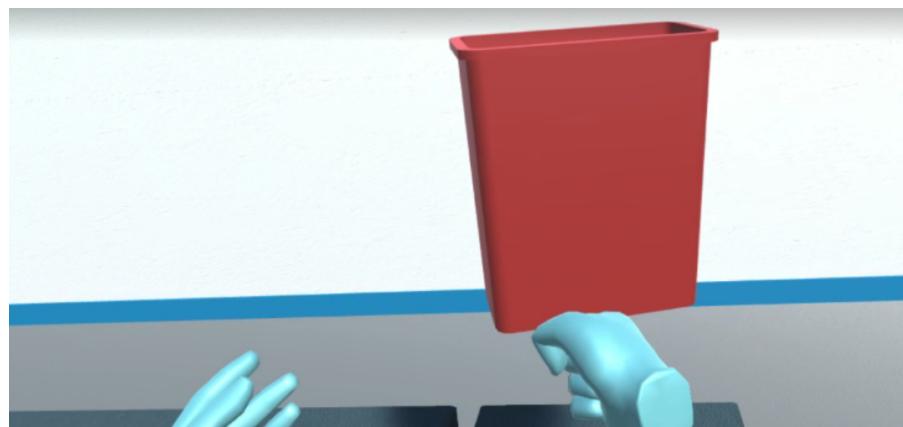


Figura 4.19: Una mano tomando y levantando el objeto

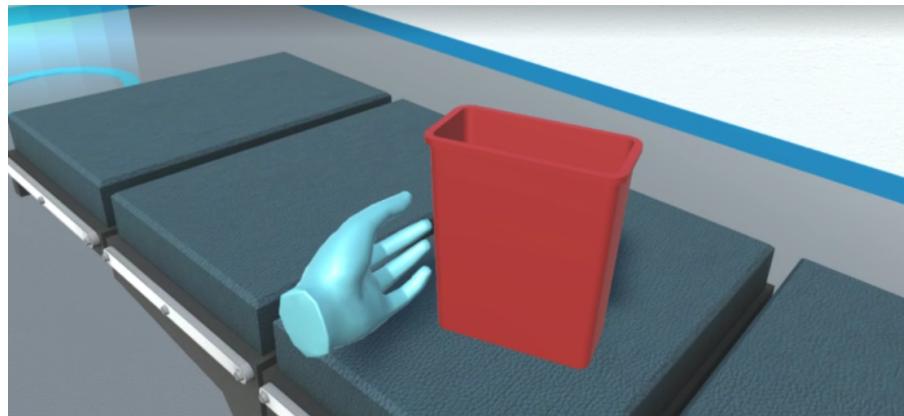


Figura 4.20: Después de pasar el objeto de una mano a otra se vuelve a soltar en un lugar distinto en el que estaba.

4.4. Retroalimentación de los stakeholders y usuarios potenciales

Debido a la situación global que se ha vivido durante el año 2020 comenzando en el mes de marzo la posibilidad de realizar pruebas presenciales con los stakeholders y usuarios potenciales se vio mermada de gran manera, lo cual desembocó en poca retroalimentación por parte de los usuarios finales, profesor de seguimiento, directores y sinodales.

Los problemas que surgieron son inherentes a la naturaleza del proyecto mismo, ya que al ser un sistema de realidad virtual, para ser probado se necesita la presencia física del usuario para que éste evalúe y experimente el sistema con todas sus características, así como sus capacidades y áreas de oportunidad en las cuales se debería de invertir más tiempo o cambios que se requieran realizar para mejorar el resultado final del proyecto, esto dependiendo completamente de la experiencia de uso que el stakeholder obtenga al realizar las pruebas con el sistema mismo.

Por lo tanto toda la retroalimentación del proyecto proviene únicamente del desarrollador, afectando el resultado final y dejando una versión menos refinada del mismo.

Capítulo 5

Conclusiones y Trabajo a Futuro

5.1. Trabajo a futuro

5.2. Conclusión

Como sucede con la mayoría de los sistemas de software, quizás al seguir siendo un campo de desarrollo tan reciente, sea esa la razón de porqué la gente suele infravalorar la cantidad de tiempo, recursos y esfuerzo que supone la puesta en obra. A diferencia de otros trabajos terminales, este ha sido una incursión fuera del software “tradicional” que se propone frecuentemente en la Escuela Superior de Cómputo, en este caso, el tiempo invertido en el desarrollo, investigación de un área completamente ajena a mi formación y tiempo invertido en la experiencia de usuario, áreas en las cuales puedo decir que es poco común que se centren las unidades académicas de la escuela, aunado a esto dadas las actividades que se requieren para un proyecto de esta naturaleza, el tiempo y los recursos así como el esfuerzo necesario implicaría quizás como en muchos desarrollos de este tipo un equipo de desarrollo completo para llegar a el estado “final” del mismo.

Podría concluir que la necesidad de crear un sistema innovador y poco recurrido para los trabajos terminales es importante a la hora de desarrollar cualquier cosa.

En general las habilidades que no forman parte explícitamente el desarrollo de software no suelen ser tomados en cuenta y frecuentemente son tratadas como no necesarias para el estudiante y profesores. Quiero mencionar que, sobre todo, y como en los sistemas de software tradicionales, la planeación y diseño es fundamental, y que no se debe de dejar de lado, incurrir en un sistema con tecnología tan nueva y utilizada en un menor grado para Trabajos Terminales complica el desarrollo del mismo.

La abstracción de un sistema de realidad virtual, el cual tiene una línea muy delgada para ser catalogado un videojuego y muchas veces es catalogado como un serious game, el cual al momento de su desarrollo se pueden definir elementos concisos y enlistarlos para su planeación, pero cada feature debe nacer de un concepto previo, debe tener un propósito y consideración. Es importante tener enfoque en el crecimiento del proyecto. En el desarrollo de experiencias de realidad virtual, la composición de elementos es una forma natural para la construcción de dicho sistema, esto facilita un crecimiento del proyecto, pero es un arma de doble filo ya que al permitir esta libertad da paso a vicios y concentraciones, de ahí que todo venga de una planeación dividiendo los elementos de software y multimedias y se pensado a la posible expansión.

El proyecto, si bien es pequeño comparado a la mayoría de producciones comerciales que se encuen-

tran en el mercado, hace ver claramente que el camino a seguir para el desarrollo de sistemas basados en realidad virtual son un campo que definitivamente requiere de una amplia gama de personas hábiles tanto en diseño, tecnología, investigación y planeación. Es un campo que requiere muchísimo desarrollo en cuanto a sus metodologías y formas de documentación para sistemas no “tradicionales”, aunque tengo la certeza de mientras más avance la tecnología y se creen más sistemas de esta índole el desarrollo irá creciendo, haciéndose cada vez más profesional y disponible para todos.

Capítulo 6

Referencias y Glosario

6.1. Glosario

- **VR:** Virtual Reality, en español, Realidad Virtual
- **RV:** Realidad Virtual
- **ICs:** Tecnologías de la Información y la Comunicación
- **WIMP:** del inglés window-icon-menu-pointing device
- **MRI:** Imagen por resonancia magnética del inglés Magnetic Resonance Imaging
- **CT:** Computed Tomography del inglés Tomografía axial computarizada
- **PET:** Tomografía por emisión de positrones del inglés Positron Emission Tomography
- **DICOM:** Imagen digital y comunicación sobre medicina. Digital Imaging and Communication On Medicine
- **HMD:** Casco de realidad virtual del inglés Head Mounted Display
- **UML:** Lenguaje de modelado unificado del inglés Unified Modeling Language
- **3D:** Tres Dimensiones del inglés 3 Dimensions
- **I/O:** Entrada y salida del inglés Input/Output
- **UX:** UX (por sus siglas en inglés User eXperience) o en español Experiencia de Usuario, es aquello que una persona percibe al interactuar con un producto o servicio. Logramos una buena UX al enfocarnos en diseñar productos útiles, usables y deseables, lo cual influye en que el usuario se sienta satisfecho, feliz y encantado.
- **VOD:** Del inglés Video On Demand, El vídeo bajo demanda, o televisión a la carta, es un servicio OTT de televisión. Esta modalidad de difusión de contenidos multimedia, permite al usuario acceder a un contenido concreto, en el momento que lo solicita, visualizandolo en línea en su dispositivo.
- **SDK:** Un kit de desarrollo de software (en inglés, software development kit o SDK) es generalmente un conjunto de herramientas de desarrollo de software que permite a un desarrollador de software crear una aplicación informática para un sistema concreto, por ejemplo ciertos paquetes de software, entornos de trabajo
- **RUP:** El Proceso Unificado de Rational o RUP (por sus siglas en inglés de Rational Unified Process) es un proceso de desarrollo de software desarrollado por la empresa Rational Software, actualmente propiedad de IBM.

Bibliografía

- [1] C. D. E. A. de Jesús, *Sistema para la orientación de los efectos sobre la espalda humana en pacientes con sobrepeso*. Instituto Politecnico Nacional, 2017.
- [2] P. C. T. D. Lobato Ruiz Gabriel, Luna Valverde Daniel, *Laboratorio virtual del cuerpo humano 3D con asistente de ayuda en línea para el nivel medio superior bajo el paradigma de educación basada en web con tecnologías de web semántica*. Instituto Politecnico Nacional, 2017.
- [3] V. M. J. A. Arroyo Figueroa Ignacio Jair, Borja Araiza Arturo, *Simulación en tercera dimensión del sistema circulatorio de los cánidos para el uso educativo*. Instituto Politecnico Nacional, 2017.
- [4] M. C. G. Raquel, *Simulación de una línea del Metro con realidad virtual*. Instituto Politecnico Nacional, 2017.
- [5] G. V. D. Samuel, “Sistema de seguimiento de movimiento de las extremidades superiores basado en sensores inerciales para rehabilitación en realidad virtual,” *Universidad Nacional Autónoma de México*, 2020.
- [6] G. N. M. de la O sustentante, *Adecuación educativa de la realidad virtual como herramienta didáctica para el proceso enseñanza-aprendizaje*. Universidad Panamericana (Mexico). Facultad de Pedagogia, 1998.
- [7] n/d, *Sistemas del cuerpo humano — BIOPEDIA.*, 2018. <https://www.biopedia.com/sistemas-del-cuerpo-humano/>.
- [8] R. De Azevedo Guaura, *Cavidad Abdominal: Anatomía Y Órganos, Funciones*, 2018. <https://www.lifeder.com/cavidad-abdominal>.
- [9] J. W. Rohen, C. Yokochi, and E. Lutjen-Drecoll, “Anatomy: A photographic atlas,” p. 300, 2018.
- [10] C. P. Érica, *Tecnologías de Realidad Virtual*, 2001 (accessed March 05, 2020). <http://telematica.cicese.mx/computo/super/cicese2000/realvirtual/Part2.html>.
- [11] L. M. Calderón, *ntornos virtuales 3D clásicos e inteligentes: hacia un nuevo marco de simulación para aplicaciones gráficas 3D interactivas.*, 2003 (accessed March 05, 2020). <http://www.uv.es/agentes/publicaciones/aepia>
- [12] J. Isdale, *What Is Virtual Reality?*, 2008 (accessed February 20, 2020). <http://vr.isdale.com/WhatIsVR.html>.
- [13] L. Diego, *¿Qué es la realidad virtual?*, 2006. <http://www.uv.es/agentes/publicaciones/aepia>
- [14] C. Gonzalez Morcillo, *Curso Básico de Blender*. <https://computacion.cs.cinvestav.mx/acortes/f3d/contenido/02.02.Tecnicas.html>.

- [15] P. Moore, “Learning and teaching in virtual worlds: Implications of virtual reality for education,” *Australasian Journal of Educational Technology*, vol. 11, no. 2, 1995.
- [16] N. Dírechova, *Design Sprint Methods*. <http://www.garage2020.nl/wp-content/uploads/2017/01/DesignSprintMethods.pdf>.
- [17] N. Pathania, “Elements of continuous delivery,” in *Pro Continuous Delivery*, pp. 1–21, Springer, 2017.

Apéndices