



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

5 de septiembre 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 | 7 |
| 1.1. Contexto y motivación | 7 |
| 1.2. Justificación | 8 |
| 1.3. Objetivos del Sistema | 9 |
| 1.3.1. Objetivos Específicos | 9 |
| 1.4. Revisión del Estado del Arte | 10 |
| 1.5. Organización de capítulos | 12 |
| 2. Marco Teórico | 13 |
| 2.1. Población Objetivo | 13 |
| 2.2. Morfología | 13 |
| 2.3. Sistemas del cuerpo Humano | 14 |
| 2.4. Sistema Digestivo | 15 |
| 2.5. Realidad Virtual | 18 |
| 2.6. La Realidad Virtual en la Educación | 19 |
| 2.6.1. Participación Programable | 20 |
| 2.6.2. Semántica Natural | 20 |
| 2.6.3. Constructivismo | 20 |
| 2.6.4. Presencia Cognitiva | 21 |
| 2.7. Modelado 3D | 21 |
| 2.8. Análisis de la plataforma Unity ® | 21 |
| 2.9. Generacion de Entorno 3D | 22 |
| 3. Solución Propuesta | 24 |
| 3.1. Propuesta de Solución | 24 |
| 3.2. Viabilidad | 24 |
| 3.3. Casos de Uso | 26 |
| 3.4. Metodología | 27 |
| 3.4.1. OpenUP | 27 |
| 3.4.2. Fases de OpenUP | 27 |
| 3.4.3. Metodología de Ingeniería de Software Multimedia | 28 |
| 3.4.4. Características de los Productos Multimedia | 28 |
| 3.4.5. Características de la Metodología de ingeniería de software multimedia | 30 |
| 3.4.6. Requisitos y preproducción | 30 |
| 3.4.7. Complicaciones del desarrollo sin metodología | 30 |
| 3.5. Selección de estrategia de diseño | 30 |
| 3.6. Requisitos para el Desarrollo de Software para Proveer una Experiencia de Realidad Virtual Optima. | 31 |

| | | |
|-----------|--|-----------|
| 3.6.1. | Los cuatro núcleos del diseño UX para RV | 31 |
| 3.6.2. | Interactivo y Reactivo | 31 |
| 3.6.3. | Comodidad y Facilidad | 31 |
| 3.6.4. | Escala de texto e imagen | 32 |
| 3.6.5. | Sonido | 32 |
| 3.7. | Retos de realidad virtual para anticipar | 32 |
| 3.7.1. | Crear un Entorno que se Vea y se Sienta Real | 32 |
| 3.7.2. | Asegurar que los Usuarios no Sufran Cinetosis | 32 |
| 3.7.3. | Desarrollar controles y menús fáciles de usar | 33 |
| 3.7.4. | Mantener al usuario seguro | 33 |
| 3.8. | Diseño y Desarrollo de Componentes Multimedia | 33 |
| 3.8.1. | Modelos 3D de los Órganos | 33 |
| 3.8.2. | Glándulas Salivales | 33 |
| 3.8.3. | Cavidad oral y faringe | 34 |
| 3.8.4. | Esófago | 34 |
| 3.8.5. | Estómago | 35 |
| 3.8.6. | Intestino delgado | 35 |
| 3.8.7. | Hígado | 36 |
| 3.8.8. | Páncreas | 36 |
| 3.8.9. | Vesícula Biliar | 37 |
| 3.8.10. | Intestino Grueso y Ano | 37 |
| 3.9. | Modelo del sistema digestivo unificado | 38 |
| 3.10. | Evaluación de modelos 3D por personal calificado | 38 |
| 3.11. | Diseño y Desarrollo de Componentes de Software | 39 |
| 3.12. | Creando el proyecto en Unity ® | 39 |
| 3.13. | Seguimiento de HMD y controles | 40 |
| 3.14. | Locomoción y ergonomía | 41 |
| 3.14.1. | Teleportación | 42 |
| 3.14.2. | Puntos de teleportación | 46 |
| 3.14.3. | Giros rápidos, entradas personalizadas, oclusión del usuario | 49 |
| 3.15. | Presencia e interacción de las manos | 51 |
| 3.15.1. | Agregar manos | 52 |
| 3.15.2. | Interactuando con entorno | 53 |
| 3.15.3. | Interacciones manuales adicionales | 54 |
| 3.16. | Integración de componentes del producto | 54 |
| 3.16.1. | Generación de interacción con modelos 3D | 54 |
| 4. | Pruebas Experimentales | 56 |
| 4.1. | Mecanismos de medición para la fase de pruebas | 56 |
| 4.2. | Pruebas de Entorno 3D con headset de RV | 56 |
| 4.2.1. | Configuración de entradas | 57 |
| 4.2.2. | Teleportación | 58 |
| 4.3. | Presencia e interacción de manos | 67 |
| 4.3.1. | Interactuando con entorno | 68 |
| 4.3.2. | Interacciones manuales adicionales | 69 |
| 4.4. | Retroalimentación de los stakeholders y usuarios potenciales | 71 |

| | |
|---|-----------|
| 5. Conclusiones y Trabajo a Futuro | 72 |
| 5.1. Productos Logrados | 72 |
| 5.2. Trabajo a futuro | 72 |
| 5.3. Conclusión | 72 |
| 6. Referencias y Glosario | 75 |
| 6.1. Glosario | 76 |
| Referencias | 78 |
| Apéndices | 79 |
| .1. Glándulas salivales | 80 |
| .2. Cavidad Oral y Faringe | 81 |
| .3. Esófago | 84 |
| .4. Estómago | 86 |
| .5. Intestino delgado | 88 |
| .6. Hígado | 90 |
| .7. Páncreas y vesícula biliar | 91 |
| .8. Intestino grueso y ano | 94 |

Capítulo 1

Presentación del problema

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^[1]. 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. 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[2] de los estudiantes de la ESM.

1.2. Justificación

Un sistema de este tipo aplicado a las áreas médicas pareciera tener como un buen beneficio para docentes y alumnos Compaginar el estudio en cuerpos físicos, con el uso del sistema usando la realidad virtual[3].

Un sistema de este tipo, es un ejemplo de cómo se pueden actualizar las herramientas educativas, por ejemplo, en Statista[4] que es un Sitio Web especializado en datos e indicadores de muchos sectores y que abarca más de 150 países se ha documentado la proyección del uso de la Realidad Virtual (RV) en general, y que el uso de este tipo de sistemas representa un mercado de aproximadamente 18.8 mil millones de dólares para el año 2020. Además, Nielsen[5] qué es una compañía dedicada a la medición y análisis de datos, muestra la disposición de la realidad virtual y aumentada en los principales continentes, como se muestra el Figura 1.1 y 1.2

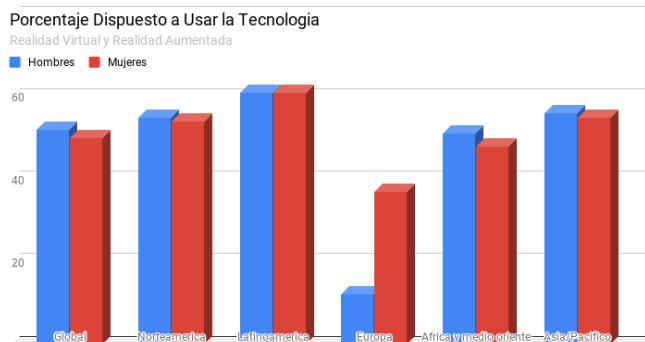


Figura 1.1: Disposición de los consumidores a nivel mundial para no usar la realidad virtual y aumentada si esta se encuentra disponible en los próximos 2 años(2020 -2021)

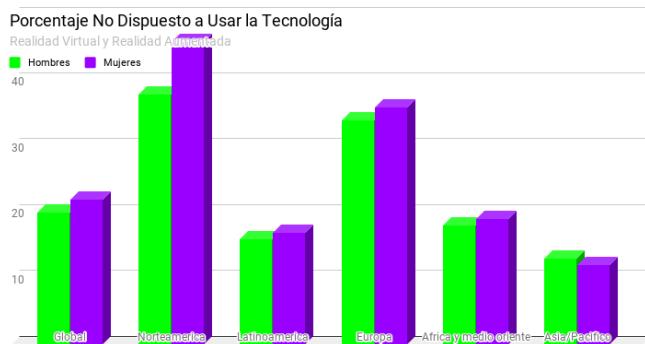


Figura 1.2: Disposición de los consumidores a nivel mundial para usar la realidad virtual y aumentada si esta se encuentra disponible en los próximos 2 años (2020 -2021)

A medida que crece el consumo de software, multimedia y videojuegos la expectativa es que aumentará la incursión al uso de este tipo de sistemas, como el que se propone en este Trabajo Terminal.

1.3. 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.

1.3.1. 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
 1. Glándulas Salivales
 2. Cavidad Oral
 3. Faringe
 4. Esófago
 5. Estómago
 6. Intestino Delgado
 - a) Hígado
 - b) Páncreas
 - c) Vesícula Biliar
 7. 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.

1.4. 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” [6]
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” [7]
3. TT No. 2014-B035 “Simulación en Tercera Dimensión del Sistema Circulatorio de los Cánidos para el uso Educativo” [8]
4. TT No. 2014-B039 “Simulación de una Línea del Metro con Realidad Virtual” [9]
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.[10]
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.[11]

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 RV 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 1.3: 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 1.4: 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.

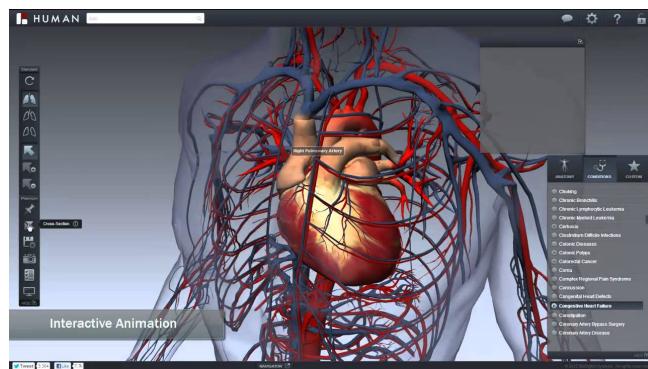


Figura 1.5: Interfaz del software de Biodigital Anatomy

- 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 1.6: Interfaz del software de 3D organon VR Anatom

1.5. 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** presente se habla del contexto y la motivación que dieron parte a la realización de este, 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.

El **Capítulo II Marco Teórico** muestra conceptos que se consideran útiles para contextualizar este Trabajo Terminal. Presenta conceptos de disciplinas medicas así como computacionales

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

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

En el **Capítulo V Conclusiónes y Trabajo a Futuro** se encuentran las conclusiones sobre resultados obtenidos y experiencias para mejorar el proceso, así como la vertiente para continuar con el trabajo.

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 Teórico

2.1. Población Objetivo

Este trabajo está principalmente orientado a los estudiantes de Educación Superior del área de Medicina, por las circunstancias sobre la idea de su elaboración, está inicialmente orientado a los los estudiantes de la Escuela Superior de Medicina del Instituto Politécnico Nacional, quienes oscilan en un rango de edad de entre 18 y 24 años de edad.

Al respecto se explota un área de oportunidad congruente con el perfil de ingreso deseado de los estudiantes de medicina de la Escuela Superior de Medicina y del desarrollo de sus habilidades respecto al uso de las Tecnologías de la Información.

De entre las características deseables[12] de estos usuarios objetivo se requiere:

- Disposición para el aprendizaje utilizando herramientas tecnológicas y de información.
- Poseer conocimientos sólidos en las áreas de biología, física, química y en forma idónea conocimientos básicos de las etimologías grecolatinas e idioma inglés, que le facilitarán la comprensión y dominio de los conceptos utilizados en las asignaturas básicas y clínicas.
- Conocer los elementos fundamentales del manejo y uso de las computadoras así como los sistemas de informática y bancos de datos de información médica y científica actuales.
- No ser propenso a sufrir cinetosis¹.

2.2. 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 los cursos donde las distintas disciplinas de la biología son una parte muy importante en la formación del alumno, las áreas que abarca

¹Trastornos producidos en el organismo a causa del movimiento. .el efecto más común de la cinetosis es el mareo”

la morfología humana se estudian por separado. En los 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, 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.

Dado 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 esta 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.

2.3. Sistemas del cuerpo Humano

El cuerpo humano es una estructura compleja y altamente organizada formada por células que trabajan en conjunto para realizar funciones específicas necesarias para mantener la vida.^[13] 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.

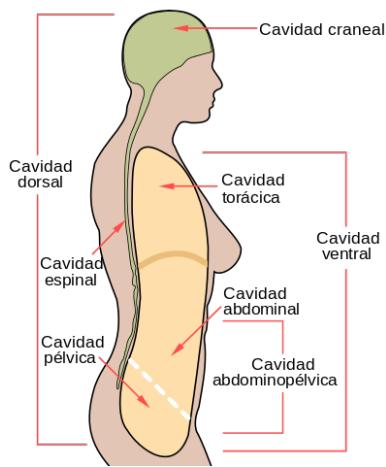
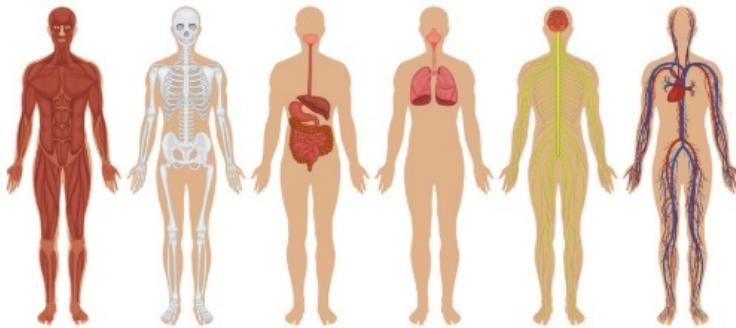


Figura 2.2: Cavidades del cuerpo humano.

Figura 2.1: Los sistemas del cuerpo humano.[\[14\]](#)

Para efectos de este trabajo terminal solamente se trabajará con la anatomía humana.

2.4. Sistema Digestivo

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 a diferencia de las demás cavidades, ver [2.2](#), 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, ver [2.3](#).[\[15\]](#)

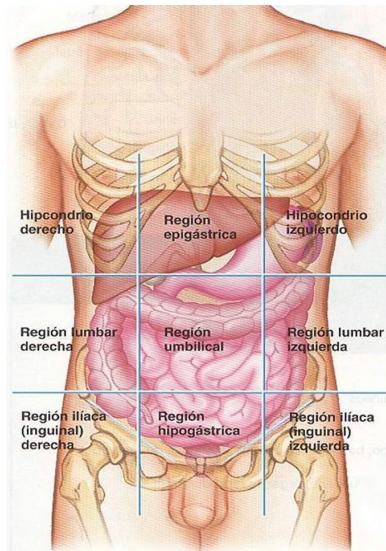


Figura 2.3: Cuadrantes de la cavidad abdominal.

Estos son resumen de los conceptos básicos de los elementos que conforman la cavidad abdominal[16]:

- 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 ileón y las porciones del colon (ciego, apéndice vermiforme, 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.

A continuación se muestra una imagen, ver 2.4, del sistema digestivo (El epiplón mayor ² ha sido parcialmente eliminado o reflejado) 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 del presente trabajo. ejemplifica el material que dispone pero no limitado a el alumnado para el estudio del sistema en cuestión.

²También llamado omento o reaño, es un pliegue bilaminar del peritoneo situado en el abdomen. Se extiende desde el estómago y la porción proximal de duodeno hasta órganos adyacentes de la cavidad abdominal.



Figura 2.4: Órganos digestivos in situ[17]

1. Hígado
2. Estómago
3. Colon transverso
4. Intestino delgado
5. Ciego con apéndice vermiciforme

En el apéndice se puede encontrar la información detallada de los componentes y órganos del sistema digestivo.

2.5. 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”[18]

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”[19]
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”.[20]
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”[21]
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 entorno 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.

2.6. La Realidad Virtual en la Educación

Los estudiantes deben aprender que se pueden conquistar nuevas fronteras cruzando los límites disciplinarios. En el caso de la tecnología y el proceso educativo, se deben crear oportunidades de aprendizaje que atraviesen la psicología, la sociología, la historia, la filosofía, la antropología, la ciencia y la teoría organizacional, construyéndose hacia sistemas complejos de comprensión aplicables a problemas complejos. Esto es tan cierto para comprender a los alumnos individuales como para comprender la cultura colectiva.

A pesar del potencial de la interacción de tecnologías de la información, en este caso la RV, pueden derivarse de un enfoque integrado y transdisciplinario, todavía es necesario ubicar el pro dentro de las estructuras administrativas y los contenidos académicos de la Universidad.

La inclusión de este tipo de tecnologías refleja una imagen de indagación que trasciende y se centra en cuatro amplios dominios de indagación.[3]

1. **Impactos de la tecnología en los contextos sociales** a través de exploraciones de la historia de la tecnología, el papel de la tecnología en el cambio, los impactos sociales, globales, económicos, políticos y psicológicos de la tecnología, la integración de la tecnología a medida que impacta en diversas culturas y las implicaciones de los cambios actuales para el diseño de práctica educativa.
2. **Impactos de la tecnología en las formas de conocimiento** a través del examen de las influencias psicológicas y epistemológicas de la tecnología sobre la naturaleza del conocimiento - sobre lo que sabemos y cómo lo conocemos - al indagar sobre la estructura y las implicaciones de las diversas arenas de discurso social y estructural creadas por las tecnologías electrónicas.
3. **Impactos de la tecnología en el proceso de aprendizaje** a través de investigaciones de definiciones emergentes de entornos de aprendizaje consistentes con configuraciones sociales más amplias y con visiones más nuevas del proceso de aprendizaje, pensamiento, resolución de problemas y creativo, incluida la naturaleza y el papel de las estrategias de instrucción y concepciones más amplias de los atributos y características del alumno.
4. **La tecnología impacta en los objetivos educativos a través de la reevaluación de los objetivos educativos tradicionales**, repensando lo que se debe aprender, cómo se debe aprender, quién es el alumno, la naturaleza de las experiencias culturales de cada alumno y cómo

se puede evaluar el aprendizaje, en particular el la naturaleza transdisciplinaria del conocimiento y el aprendizaje y la literatura emergente sobre estándares y metas para la educación, así como el papel de la tecnología en la configuración de estas reevaluaciones.

2.6.1. Participación Programable

Las características de la realidad virtual son las mismas que las de una buena enseñanza. El profesor quiere crear un entorno que sea programable y en el que participen los alumnos. .^{El} principio más importante del diseño de actividades en el aula es que las acciones del estudiante determinan lo que se aprenderá”. Es decir, la atención es lo primero, el aprendizaje después de la atención está enfocada. Y el aprendizaje es principalmente acción.

La idea es simple, todo lo que hacemos para educar con palabras y con imágenes se puede brindar como experiencia virtual. Podemos variar ubicación, escala, densidad de información, interactividad y capacidad de respuesta, tiempo, grado de participación.

La idea es simple, todo lo que hacemos para educar con palabras y con imágenes se puede brindar como experiencia virtual. Podemos variar ubicación, escala, densidad de información, interactividad y capacidad de respuesta, tiempo, grado de participación.

2.6.2. Semántica Natural

La interacción de la RV está acoplada al comportamiento natural. La regla general es que un niño debe poder controlar el sistema. Sin líneas de comando o clics del mouse, más bien, simplemente caminar y señalar y hablar y agarrar.

La realidad virtual tiene sentido cuando lo que un participante ve y oye tiene un significado que no requiere explicación. Piense en una casa. Una descripción textual requiere habilidades de lectura, una base de datos de procedimientos (listas de coordenadas) requiere decodificación, una imagen puede reconocerse inmediatamente pero no es interactiva. Una casa en realidad virtual se parece más a una casa física, puedes mirarla mientras caminas alrededor, puedes caminar por la puerta principal y explorar cada habitación. Una casa física tiene semántica natural, nadie necesita explicarla. La semántica natural es lo que aprende un niño antes de la escolarización simbólica.

2.6.3. Constructivismo

Los entornos virtuales no se limitan solo a la visualización, el alumno puede interactuar con objetos y espacios en la realidad virtual. El alumno puede utilizar herramientas para crear nuevos entornos, modificar los antiguos, realizar exámenes de simulación, corregir errores, jugar, en lugar de enseñar una estructura de símbolos y luego enseñar el significado de esa estructura, en RV. Primero enseñaremos el significado a través de la experiencia, luego (si es necesario) enseñaremos la abstracción simbólica de nuestras experiencias.

Pero la computadora es una herramienta ideal para manipular las abstracciones simbólicas. En lugar de enseñar la abstracción, podemos simplemente enseñar cómo usar la herramienta de realidad virtual, una interfaz natural con abstracciones. La RV no es una simulación de la realidad, es un superconjunto de la realidad.

La realidad virtual enseña la construcción activa del medio ambiente. Los datos no son una lista abstracta de números, los datos son lo que percibimos en nuestro entorno. El aprendizaje no es una lista abstracta de palabras de libros de texto, es lo que hacemos en nuestro entorno. El plan de estudios oculto de la realidad virtual es: haz tu mundo y cuídalo. Prueba los experimentos de forma segura. Experimente las consecuencias, luego elija del conocimiento lo que sea necesario.

2.6.4. Presencia Cognitiva

En la realidad virtual, cada objeto se puede habitar como un cuerpo virtual. Los estudiantes no son simplemente coparticipantes, trayendo su perspectiva dentro del mismo contexto de un objeto, sino que los estudiantes pueden convertirse en el objeto, ver y actuar en el mundo virtual como si fuera el objeto. [22]

2.7. 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.[23]

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 computadora 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.

2.8. Análisis de la plataforma Unity ®

Unity ® es un motor de desarrollo de videojuegos multiplataforma desarrollado por Unity Technologies. Con él se pueden crear videojuegos, simuladores, software de realidad virtual y aumentada. Puede generar código para computadoras de escritorio, portátiles, consolas de videojuegos, Smart TV y otros dispositivos móviles. Ofrece una API de scripting en C#. En la figura 2.5 se puede ver el

entorno en general.



Figura 2.5: Interfaz de trabajo de Unity ®3D en 2020 [24]

2.9. Generacion de Entorno 3D

El entorno 3D es en 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.

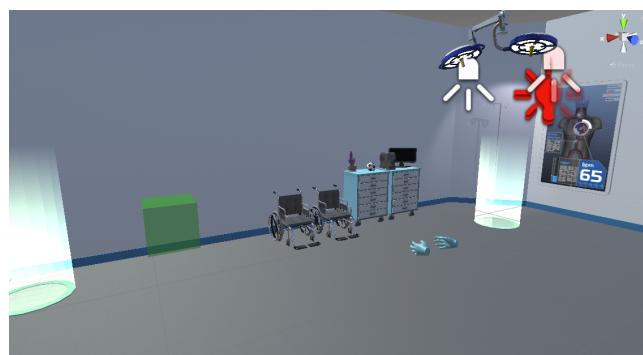


Figura 2.6: Entorno 3D vista normal



Figura 2.7: Entorno 3D vista externa de la escena

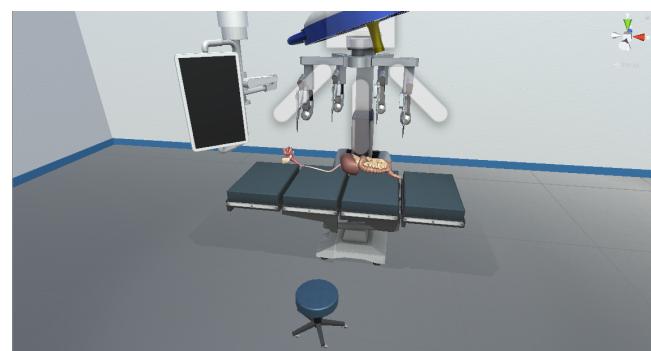


Figura 2.8: Entorno 3D vista principal

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 [2], 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.

| Componente | Modelo |
|------------------|---------------------------|
| Procesador | AMD Ryzen 5 1600, 3.20GHz |
| Memoria RAM | 16 Gio DDR4 |
| Tarjeta de Video | AMD Radeon RX 480 8Gio |

Cuadro 3.4: Componentes principales de la computadora armada que se usó para el proyecto.

| 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 3.4. La computadora que se armó tuvo un costo aproximado de \$25,000.00 MXN, ya considerando los demás componentes.

Pendiente tabla costos

Además, el sistema de Realidad Virtual con sus componentes tiene un costo que se muestra en el cuadro 3.5.

| 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 3.5: Costos y contenido del sistema de Realidad Virtual.

Se estimaron los sueldos de programador y modelado, como se observa en el cuadro 3.6.

| 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 3.6: 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 3.7: Cálculo de Costo por Servicios.

Los servicios estimados se muestran en el cuadro 3.7 y en el cuadro 3.8 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 3.8: 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.

3.3. Casos de Uso

El planteamiento de casos de uso en un sistema no tradicional como este puede generar un dificultades al momento de expresar cuál es la actividad que podrá realizar el actor ya que las pero se pueden denotar en acciones específicas que queremos que el usuario pueda realizar en el sistema. Ahora bien en la figura 3 se muestran los casos de uso que dan parte a el uso del software y las posibilidades generales de interacción en un software de Realidad Virtual. Aunque las interacciones pueden ser prácticamente infinitas estas se ven limitadas hasta cierto punto por las capacidades integradas dentro del software, más adelante se describirán las interacciones con los modelos 3D de los sistemas elegidos, en este caso el sistema de realidad virtual.

3.4. Metodología

3.4.1. OpenUP

OpenUP [14] es un proceso de desarrollo de software basado en RUP, publicado con licencia de código abierto donde solo se incluye el contenido mínimo y fundamental. Se puede utilizar como base de desarrollo en procesos específicos, ya que no posee todos los elementos para un proyecto de gran tamaño. Debido a lo anterior OpenUP es extensible de tal manera que puede ser utilizado como base, donde se puede adaptar o añadir el contenido necesario para desarrollar un proyecto.

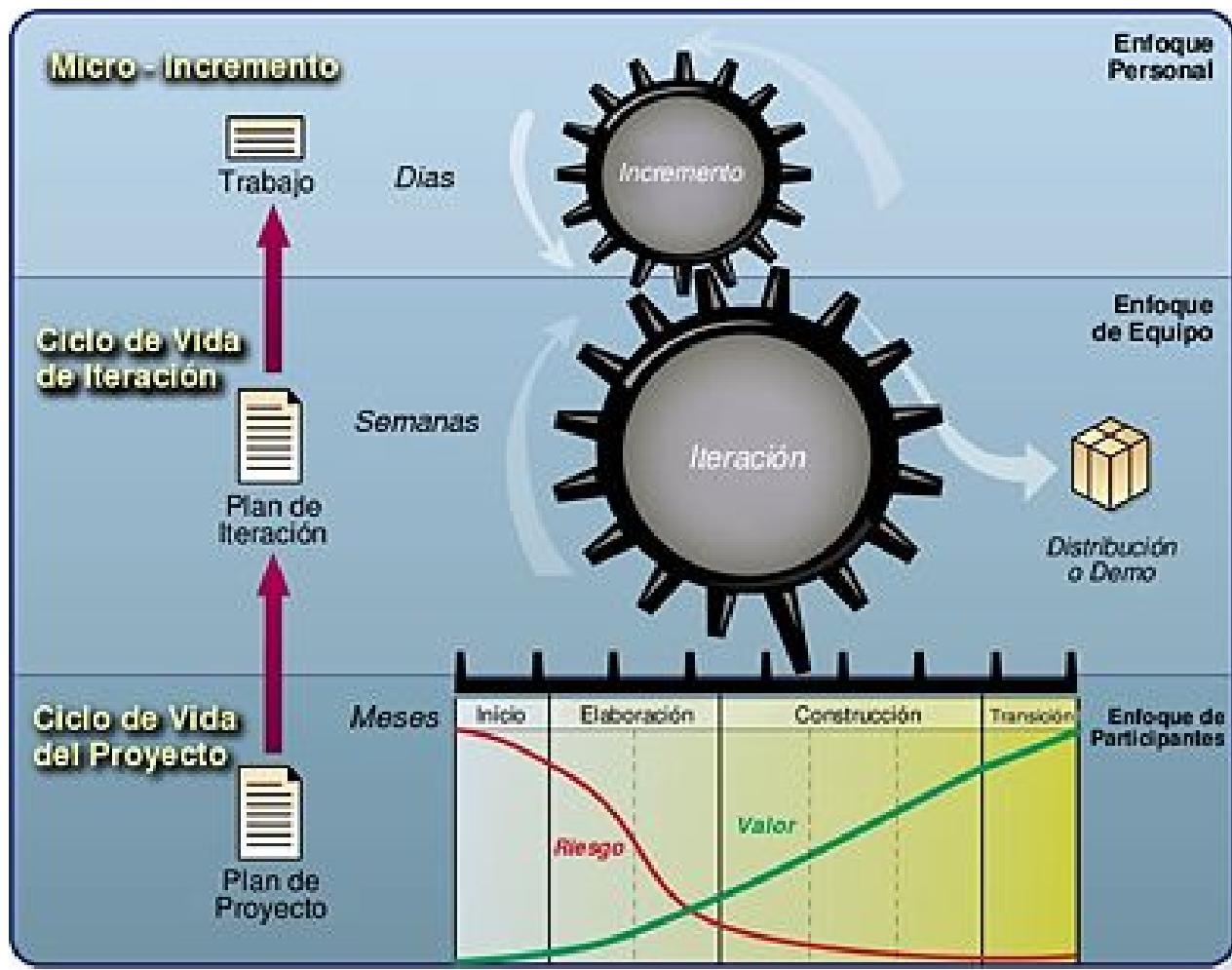


Figura 3.1: Ciclo de Vida Iterativo de OpenUP

3.4.2. Fases de OpenUP

OpenUP está organizado en dos métodos, contenido y proceso. Consta de cuatro fases: concepción o creación del proyecto, preparación o elaboración detallada del proyecto, construcción y transición.

- **Contenido:** El método contenido incluye funciones tales como, tareas, artefactos y orientación que se definen de manera independiente.
- **Proceso:** Donde el método de elementos se aplica de forma temporal.

Fases

- **Fase de Creación:** Esta fase es la primera de todas y la más importante, ya que aquí se estudia y entiende el alcance y objetivos del proyecto para determinar si se debe continuar o de lo contrario este no debería continuar.
- **Fase de Elaboración:** Es la segunda fase en el ciclo de vida del proyecto, cuando los riesgos arquitecturalmente característicos son dirigidos.
- **Fase de Construcción:** El objetivo principal de esta fase es centrarse en el diseño, en la implementación y la prueba para llevar a cabo un sistema completo basado en la arquitectura.
- **Fase de Transición:** El objetivo de esta cuarta y última fase es garantizar que el producto está listo para ser entregado a los usuarios.

3.4.3. Metodología de Ingeniería de Software Multimedia

3.4.4. Características de los Productos Multimedia

Los productos multimedia se pueden clasificar en dos categorías: productos interactivos y no interactivos. Los productos no interactivos también se pueden clasificar en productos estáticos como carteles, logotipos, folletos, modelos estáticos 3D, etc., y productos basados en el tiempo. [25, 26]. Los productos multimedia interactivos son aplicaciones de software que contienen productos multimedia[27] (es decir, aplicaciones basadas en eventos como juegos, aplicaciones web basadas en multimedia y materiales de aprendizaje multimedia basados en interactividad). La figura 3.2 a continuación ilustra los tipos de productos multimedia.

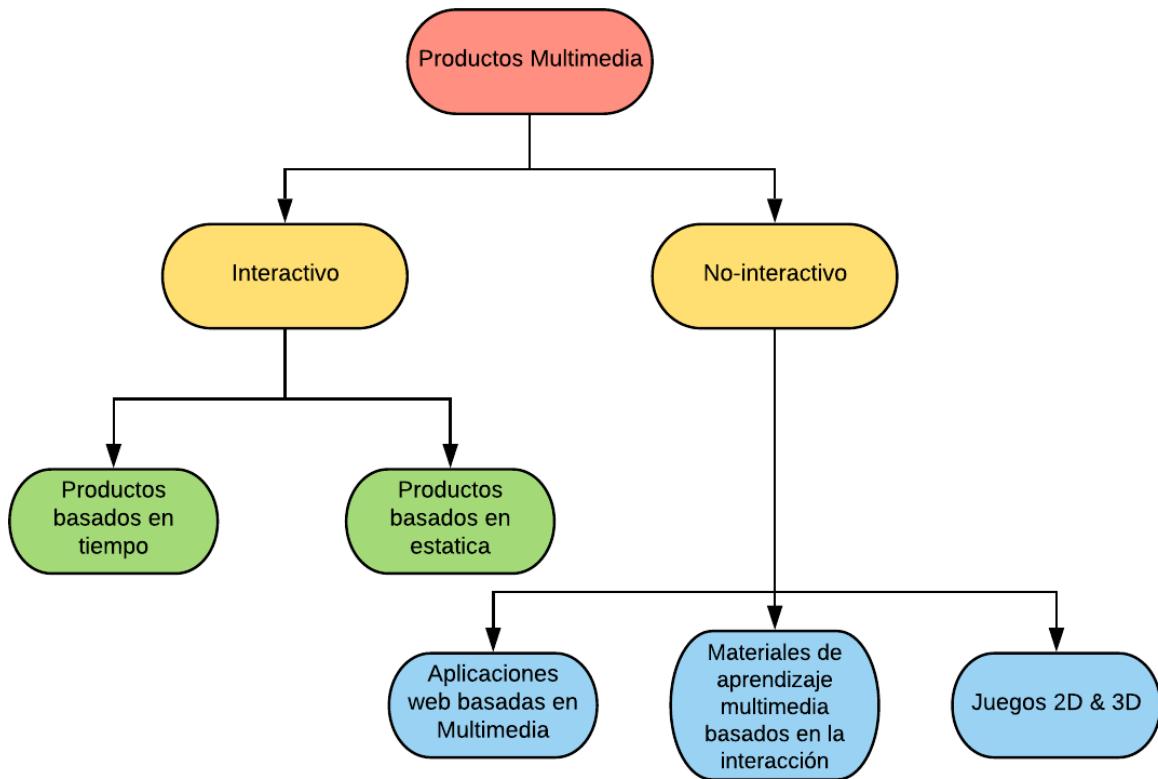


Figura 3.2: Tipos de productos multimedia

Cada una de las categorías anteriores tiene un conjunto de características que pueden clasificarse en tres dimensiones: vista externa, flujo de acciones y roles de los usuarios.

La vista externa se refiere a la forma en que el usuario interactúa con el producto. En este sentido, los usuarios interactúan con productos no interactivos de una manera.

Los usuarios suelen realizar eventos y la respuesta del producto a estos eventos mediante acciones.

Los roles de los usuarios se refieren a lo que los usuarios pueden hacer para interactuar con productos multimedia. En los productos no interactivos, los usuarios son pasivos donde solo pueden leer / mirar productos. Sin embargo, los usuarios son usuarios activos con productos interactivos donde pueden realizar eventos. El cuadro 3.9 resume los tipos de productos multimedia y sus características.

| Tipos de productos multimedia | Características Multimedia | | |
|------------------------------------|----------------------------|---|-------------------------|
| | Vista Externa | Flujo de acciones | Roles de los Usuarios |
| <i>Productos estáticos</i> | Un cuadro | Sin acciones | Pasivo (ver/leer) |
| <i>Productos basados en tiempo</i> | Múltiples cuadros | Secuencia | Pasivo(mirar) |
| <i>Productos interactivos</i> | Impulsado por eventos | Secuencia, Selectiva, Interactiva e Impulsada por eventos | Activo(Realiza eventos) |

Cuadro 3.9: Características de los productos multimedia.

3.4.5. Características de la Metodología de ingeniería de software multimedia

3.4.6. Requisitos y preproducción

El objetivo de esta fase es tener muy en claro cuales son los alcances y lo que será posible que el proyecto realice. Para ello se realizaron las siguientes actividades:

3.4.7. Complicaciones del desarrollo sin metodología

El proyecto comenzó su desarrollo sin tomar en cuenta la metodología de desarrollo OpenUP, lo cual causó que el trabajo se viera mermado en cuanto a su documentación y desarrollo.

El desarrollo de un sistema mediante OpenUP puede ser una herramienta poderosa para el desarrollo de software ya que dentro de ella se desarrollan micro incrementos en el desarrollo del software y además cumple con los principios del Manifiesto Ágil[28].

La problemática surge cuando se intenta implementar en un proyecto de software diferente al cual usualmente se desarrolla, por ejemplo un Sistema de Calendarización de Trabajos terminales o un Generador de Páginas Web, difiere en cuanto a su desarrollo ya que se usan herramientas y elementos diferentes, tales como el desarrollo en el motor Unity ®, el diseño de los modelos 3D y el uso de elementos propietarios de Oculus ® dificultan la tarea de documentación y desarrollo bajo lineamientos por más ligeros que sean debido a la naturaleza del proyecto.

Es por eso que se buscó como alternativa una metodología que tome en cuenta las características inherentes de un software que su núcleo está arraigado a la realidad virtual haciéndolo un software multimedia.

Debido al cambio de enfoque de desarrollo de la metodología las tareas de reingeniería son suplementadas por más tiempo de desarrollo y refinamiento de los elementos anteriores a estos dentro del cronograma de actividades.

3.5. Selección de estrategia de diseño

Al intentar comprender y desarrollar ideas relevantes para los temas, es necesario reiterar la comprensión de sus definiciones actuales y contexto histórico.

Con respecto a la realidad virtual, una de las cosas básicas a considerar es la forma en que nuestros sentidos sirven como la entrada que nuestro cerebro utiliza para construir una comprensión del mundo que nos rodea. La vista, el oído, el tacto, el olfato y el gusto son el conjunto de estímulo externo más ampliamente aceptado que percibe el cuerpo humano.

Estos sentidos y nuestras reacciones a ellos son el resultado de milenios de selección natural y hay varias consecuencias de esto incorporadas en nuestro instinto. Todo esto es un conocimiento relativamente común y parece que no es necesario reiterar aquí, pero lo importante es afirmar que nosotros, como humanos, tenemos ciertos resultados predecibles basados en ciertos conjuntos de entradas. Esencialmente, es instinto, naturaleza humana.

Un sitio web bien diseñado utilizará de manera similar el color, la distancia y la tipografía para comunicar claramente un propósito y, a menudo, persuadir algún tipo de acción.

Para que todo esto sea efectivo, se deben implementar y descubrir principios de diseño razonables. Existen varios principios para el diseño que pueden traducirse de otros medios. El diseño de impresión, el diseño web, la arquitectura, el diseño de interiores, el teatro, los gráficos en movimiento, etc., tienen elementos que pueden considerarse relevantes y adoptados. [29]

Al mismo tiempo, el medio de la realidad virtual como propiedades, como la capacidad de intersección del contenido, son únicas.

Es por esto que el diseño de un sistema de realidad virtual presenta retos los cuales son difíciles de sobrelyear ya que se tiene que crear una experiencia para el usuario en el sistema mismo lo cual conlleva a la selección de una estrategia de diseño centrada en la UX del usuario.

3.6. Requisitos para el Desarrollo de Software para Proveer una Experiencia de Realidad Virtual Optima.

La realización una experiencia de realidad alternativa es la prueba definitiva para diseñar una experiencia de usuario impecable que pueda sumergir los sentidos y “engaños” a la mente para que abrace la falsa realidad.

Pero crear una experiencia de realidad virtual es mucho más complejo que la producción visual 2D y 3D normal asociada con películas y videojuegos, que nos presenta como desarrolladores y diseñadores un conjunto completamente nuevo de desafíos. Crear una experiencia de realidad virtual exitosa requiere que el pensamiento actual sobre UX evolucione para acomodar sus capacidades y requisitos ya que es una rama la cual, frecuentemente, no es estudiada a profundidad dentro de la carrera de Ingeniería en Sistemas Computacionales.

3.6.1. Los cuatro núcleos del diseño UX para RV

Se plantean cuatro consideraciones centrales para el diseño de experiencias de realidad virtual:

3.6.2. Interactivo y Reactivo

La pantalla estereoscópica de visión amplia de los visores de realidad virtual, en este caso específico el Oculus Rift ®, crea una imagen tridimensional que fomenta la profundidad y la perspectiva. El software RV debe seguir constantemente los movimientos de la cabeza y los ojos del usuario, permitiendo que las imágenes se muevan y cambien con cada nueva perspectiva, produciendo retroalimentación visual y creando una ilusión de sensación táctil.

La experiencia es altamente interactiva y reactiva porque el diseño responde a los movimientos de un usuario y, por lo tanto, siempre está cambiando.

Es por eso que una experiencia de realidad virtual se diseña a una vista de 360 grados. Cuando se está diseñando una experiencia, se debe de anticipar y dirigir cada movimiento del usuario, teniendo en cuenta dónde dirigir el ojo usando la vista, el sonido se presenta dentro del sistema que está proveyendo la experiencia de realidad virtual.

3.6.3. Comodidad y Facilidad

La cualidad más importante para crear cualquier diseño UX exitoso, especialmente en realidad virtual, es garantizar que el usuario se sienta cómodo durante toda la experiencia[30], lo que le permite tener un control completo de todos los movimientos y reducir la posibilidad de cinetosis.

Los cambios de brillo y los desajustes de velocidad son muy importantes. De hecho, la posibilidad de cinetosis fue un obstáculo importante para el desarrollo de la tecnología de Realidad Virtual.

Se debe implementar la capacidad de ver y usar controles, hacer clic en botones y otras características centradas en el diseño para evitar confundir o frustrar a los usuarios.

En otras palabras, dar al usuario la capacidad y la facilidad de controlar completamente su propia experiencia. Esa es la capacidad del sistema realidad virtual en el cual se intenta proveer la capacidad de experimentar completamente un mundo diferente y controlar cada uno de los movimientos del usuario dentro de ese mundo.

3.6.4. Escala de texto e imagen

La percepción actual de software realizado en realidad virtual es que este es realista". Esto esencialmente está tratando de crear una experiencia que envuelve completamente al usuario. Los detalles importan en el diseño de los sistemas, especialmente uno que sea lo suficientemente intuitivo para requerir la mínima curva de aprendizaje para el usuario. Todas las imágenes deben ser claras y fácilmente legibles, evitando la fatiga visual y teniendo en cuenta la perspectiva. Agregar más y más detalles a un objeto a medida que el usuario se acerca a él ayudará a establecer una profundidad realista (y viceversa). El usuario notará mejor el texto grande, en negrita y colorido.

3.6.5. Sonido

La música y los efectos de sonido de alta calidad son una característica fundamental para fomentar la inmersión en la experiencia.

Mediante la implementación de 3D efectos de audio a RV audio posicional, el usuario sabrá la dirección en la que ciertos sonidos son originados en relación a donde están, o el audio podría ser hecho a sonar como es proveniente de todo tipo de direcciones, dando al usuario la ilusión de estar en medio de un entorno particular.

Dar a los usuarios un control de volumen también puede ser una buena idea para ayudar al usuario a encontrar un rango cómodo, aunque estos no son esenciales dentro del sistema.

3.7. Retos de realidad virtual para anticipar

A medida que los diseñadores y desarrolladores se sumergen más en la realidad virtual, este tipo de experiencia relativamente desconocida seguramente se utilizará de formas que aún no se han considerado y, por lo tanto, se tendrán desafíos y beneficios que aún no se han descubierto. Sin embargo, pruebas realizadas por usuarios[?] han traído a la superficie desafíos de diseño actuales.

Si bien el objetivo de una experiencia de realidad virtual efectiva y placentera se logra utilizando los principios fundamentales de UX, crear realidad virtual es más fácil decirlo que hacerlo.

Al realizar el diseño se procura minimizar diligentemente las frustraciones y la confusión de los usuarios al agrupar los detalles y la funcionalidad del usuario en cada centímetro del diseño reactivo.

3.7.1. Crear un Entorno que se Vea y se Sienta Real

No ignorar ningún detalle y siempre dé a los usuarios un control completo. Un sistema de realidad virtual es altamente interactivo de 360 grados debe parecer tan realista que los usuarios olviden que es realidad virtual.

Ofrecer al usuario la capacidad de interactuar de todas las formas posibles, incluida la capacidad de tocar, levantar y lanzar todo tipo de objetos.

3.7.2. Asegurar que los Usuarios no Sufran Cinetosis

La cinetosis ocurre cuando las señales de movimiento físicas y visuales le dan al usuario información adversa. Las claves para evitar que los usuarios se enfermen por el movimiento mientras usan un sistema de realidad virtual son el seguimiento efectivo de la cabeza, que mantiene algunos objetos en posiciones fijas sin importar el movimiento del usuario.

Además, mantener una velocidad de fotogramas alta y nunca perder fotogramas. Otras formas de combatir la enfermedad de la simulación es minimizar el movimiento de la periferia en el diseño y no intentar acelerar al usuario (también conocido como: no simular cambios en la velocidad).

3.7.3. Desarrollar controles y menús fáciles de usar

Este es un desafío en el que los diseñadores todavía están trabajando y se ha diseñado de la mejor forma posible tomando en cuenta diferentes estrategias y modelos de diseño.

Dado que los menús de navegación y otros controles no se pueden colocar en las esquinas de la pantalla, ya que en un sistema de realidad virtual, no hay esquinas o puntos finales para su vista, deben permanecer fácilmente accesibles y fáciles de usar.

Algunos juegos de realidad virtual colocan los controles en las manos de realidad virtual del usuario y la navegación del menú se realiza con la cabeza.

Sea lo más creativo posible con la experimentación, pero si los controles y los menús son difíciles de operar o encontrar, lo más probable es que su diseño de RV reciba un gran reconocimiento de los usuarios. Un tutorial rápido antes de la experiencia puede ayudar a bordo del usuario para evitar la frustración.

3.7.4. Mantener al usuario seguro

Si bien los usuarios explorarán nuevos espacios, la realidad física es que el cuerpo del usuario todavía está atrapado dentro de una sala de la habitación donde se instale el sistema de realidad virtual.

Se tiene que asegurarse de que la experiencia de realidad virtual no representa serias amenazas de seguridad para los usuarios.

Hacer que funcione para los usuarios. Es importante tener en cuenta las diferentes alturas y tamaños de las personas. No colocar artículos críticos fuera del alcance de usuarios con una altura diferente. Además, se debe de tener en cuenta las diferentes preferencias y desventajas físicas al crear varios modos y permitir que los usuarios se sienten mientras visitan una realidad alternativa.

3.8. Diseño y Desarrollo de Componentes Multimedia

3.8.1. Modelos 3D de los Organos

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.

3.8.2. Glándulas Salivales

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.

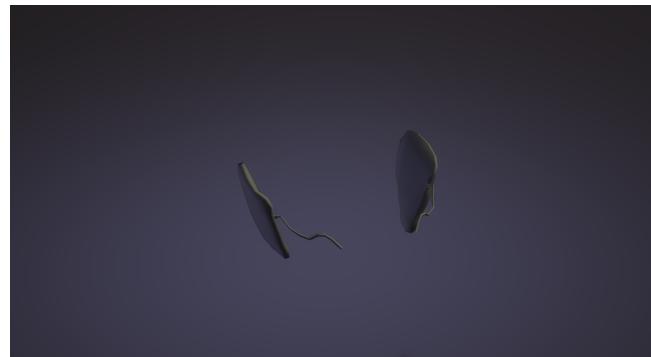


Figura 3.3: Modelo 3D de las glándulas salivales

3.8.3. 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.

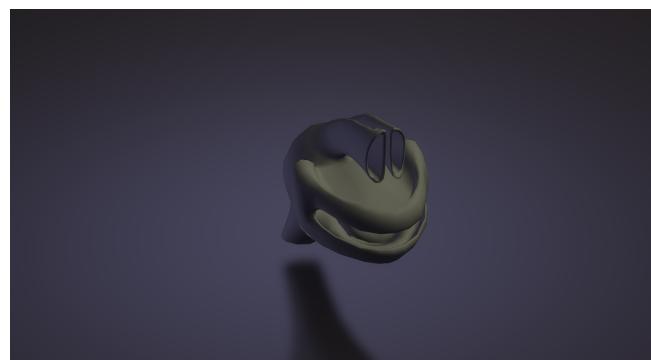


Figura 3.4: Modelo 3D de la cavidad oral

3.8.4. 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.

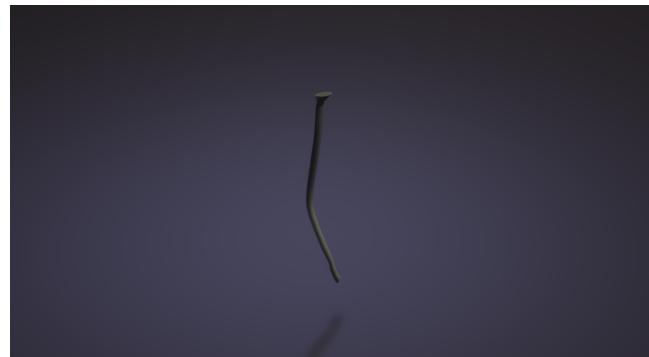


Figura 3.5: Modelo 3D del esófago

3.8.5. 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.

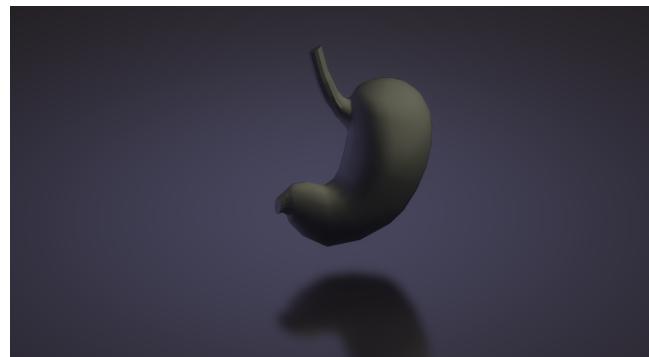


Figura 3.6: Modelo 3D del estómago

3.8.6. 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 3.7: Modelo 3D del intestino delgado

3.8.7. 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 3.8: Modelo 3D del hígado

3.8.8. 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 3.9: Modelo 3D del páncreas

3.8.9. 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 3.10: Modelo 3D de la vesícula biliar

3.8.10. 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 3.11: Modelo 3D del intestino grueso

3.9. 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 3.12: Modelo 3D del Sistema digestivo

3.10. 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.

3.11. Diseño y Desarrollo de Componentes de Software

Los componentes de software a diseñar y desarrollar el cual interactúa con el entorno en 3D y modelos 3D.

Hubo puntos clave desarrollados los cuales tuvieron que ser desarrollada para llevar a cabo la mejor UX. Los desarrollos son incrementales, en cuanto a el grado de interacción que se logra.

Los componentes desarrollados para este software son:

- Seguimiento de HMD y controles
 - Teleportación
 - Puntos de teleportación
 - Giros rápidos, entradas personalizadas, oclusión del usuario
- Presencia e interacción de las manos
 - Agregar manos
 - Interactuando con entorno
 - Interacciones manuales adicionales

Todos estos componentes forman la base para que la experiencia del software de realidad virtual se “sienta” lo más “natural” posible y estos mismos deben de estar refinados para que al integrarse con los componentes multimedia la interacción con estos se lleve de manera fluida.

3.12. Creando el proyecto en Unity ®

Se optó por el uso de Unity ® en su versión 2018.4 14f1 LTS ya que esta misma será soportada por más tiempo y es ideal para un desarrollo en el cual se necesite solamente usar una versión estable del editor sin que haya cambios dentro de este que perjudique el desarrollo del sistema; así mismo es la versión que Oculus[31] recomienda dentro de sus requerimientos y recomendaciones de desarrollo.

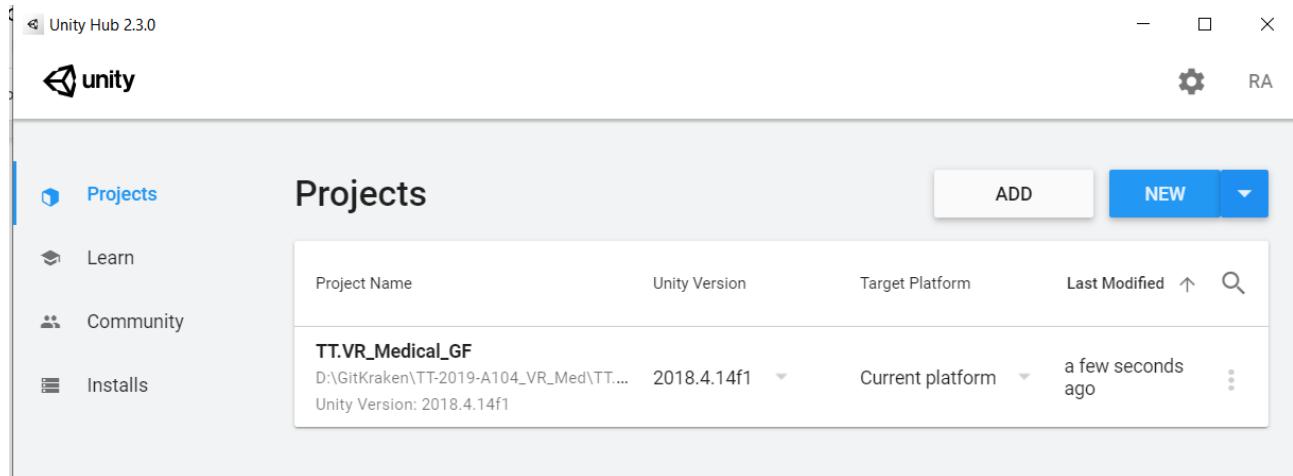


Figura 3.13: Unity Hub 2.3.0

3.13. Seguimiento de HMD y controles

En este apartado se realizó el rastreo del HMD y de los controles y que estos se vean reflejados como movimientos dentro del software y replicados en el mismo HMD el cual está siendo usado por el usuario y así puede percibir el movimiento. Esto es la base para que el software provea una experiencia en la cual el usuario pueda estar inmerso.

Utilizando el SDK que provee Oculus para su desarrollo con el motor Unity se realiza el elemento OVRCameraRig y TrackedAlias.

Se abrió el prefabricado OVRCameraRig , así como el objeto secundario TrackingSpace en la jerarquía. Se selecciona OVRCameraRig y luego se navega hasta el script LinkedAliasAssociationCollection en el inspector. Se adaptan los siguientes activos en las entradas apropiadas en el Script LinkedAliasAssociationCollection:

- TrackingSpace a Play Area
- CenterEyeAnchor a el HMD
- CenterEyeAnchor a la cámara del HMD
- LeftHand Anchor al controlador izquierdo
- RightHandAnchor al controlador derecho

Realizando estos pasos se logra el rastreo de los controles y el HMD ejemplificando con la figura 3.14.

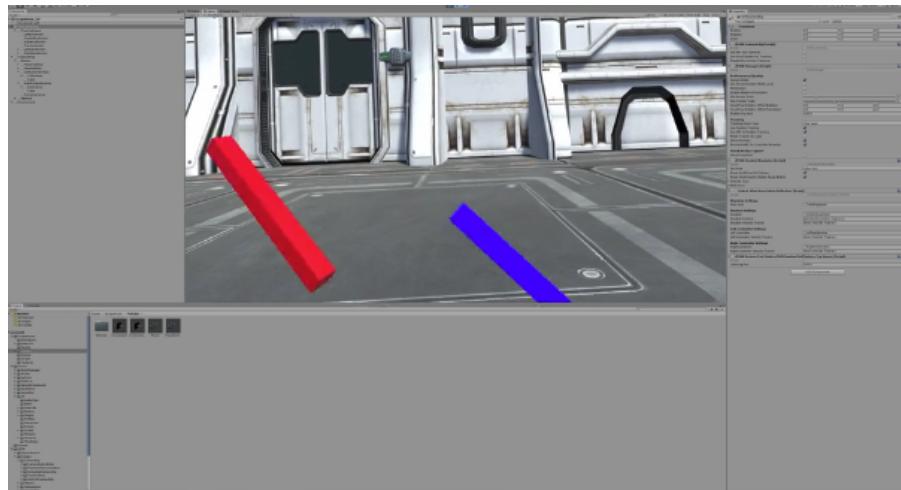


Figura 3.14: Entorno de desarrollo Unity mostrando en rastreo del HMD y controles

3.14. Locomoción y ergonomía

El modo más simple de locomoción es el movimiento físico y este es el más confortable que se puede tener debido a que cuando uno decide moverse en la realidad el usuario también se moverá dentro del entorno virtual, pero este viene con limitaciones inherentes y retos que no son plenamente obvios al momento de la concepción y desarrollo, se exponen algunos a continuación .

- Los usuarios poseen áreas de interacción de diferentes tamaños, no todos poseen un área grande lo cual les permite más libertad de movimiento, mientras más pequeño sea el espacio que requiera el usuario más usuarios podrán hacer uso del sistema. Se podría ajustar el contenido del sistema, pero esto implicaría mayor trabajo y tiempo, esto no se traduce en una experiencia de usuario mejor que si este se hubiera diseñado con un área de interacción pequeña en primer lugar.
- Se toma en cuenta que con el movimiento físico es probable que algunos usuarios no tengan la posibilidad de moverse físicamente dentro de su área, pueden estar limitados por una discapacidad, lo cual implicaría en que el movimiento sería una distracción para el usuario asumiendo que de algún modo este pudiera interactuar de alguna manera.

Otros dos tipos más de locomoción que se consideraron para el desarrollo del sistema uno de estos es el movimiento guionizado y movimiento de avatar, el primero se refiere a cuando la perspectiva se mueve a través de un camino predeterminado, este es usualmente utilizado cuando se realiza una experiencia que no requiera movimientos del usuario, fácilmente ejemplificado por un viaje en una montaña rusa en un software de realidad virtual este puede llegar a causar vección, generalmente este tipo de movimiento suele ser poco tolerable en largos periodos de tiempo.

Por otro lado el movimiento de avatar es el clásico movimiento que solemos encontrar en videojuegos o en experiencias pasadas de realidad virtual, al mover una palanca del mando el avatar comenzará su movimiento. Este fue un acercamiento más que válido pero con el progreso de la tecnología la manera de implementar el movimiento ha evolucionado.

La teleportación se refiere a una mecánica instantánea o casi instantánea en la cual el usuario aparece en un lugar seleccionado, típicamente funciona apuntando hacia al lugar deseado y presionando un botón, aunque hay múltiples variaciones de este acercamiento.

La teleportación ocurre en un instante lo cual reduce a un mínimo la posibilidad de generar una molestia comparación de los tipos de movimiento expuestos anteriormente.

Tomando en cuenta los tipos de movimiento pasado, sus deficiencias y beneficios se tomó la decisión de implementar la teleportación como método de movimiento en el entorno virtual del sistema.

3.14.1. Teleportación

En este apartado se desarrollaron los movimientos que el usuario pudiera tener dentro del entorno en 3D, estos dan la posibilidad de “movimiento” dentro del mismo así como las limitaciones que se implementan para que el mismo usuario no pueda acceder a partes que no queramos o estén disponibles para este.

El desarrollo se realizó de la manera siguiente:

Se cambió el nombre del Prefab a una convención de nombres, en este caso Teleport.Curved. respectivamente, y se realizó una copia para la mano derecha para tener un objeto distinto para la mano derecha.

Se configuró el script de fachada de puntero adjunto a cada objeto arrastrando el Alias de controlador correspondiente de la Jerarquía al campo FollowSource.

Se crearon dos nuevos GameObjects vacíos para el manejo de las entradas del control y adjunto el script OVRInputTouchAction a cada uno de ellos.

Se estableció el valor de la propiedad táctil de ambos scripts OVRInputTouchAction en Thumbstick primario. Estableciendo el valor de la propiedad del controlador en L Touch y R Touch respectivamente.

```

using System.Collections;
using System.Collections.Generic;
using UnityEngine;
using Zinnia.Action;

public class OVRInputTouchAction : BooleanAction
{
    public OVRInput.Controller controller = OVRInput.Controller.Active;
    public OVRInput.Touch touch;

    void Update() {
        Receive(OVRInput.Get(touch, controller));
    }
}

```

Para cada objeto de ObjectPointer.Curved, se le asigna el objeto TeleportCurved correspondiente de la Jerarquía con un script OVRInputTouch al campo Acción de activación en el componente Fachada de puntero.

De esta manera al tocar cualquier thumbstick este invocará una curva la cual nos mostrará dónde será la teleportación una vez esta sea implementada.

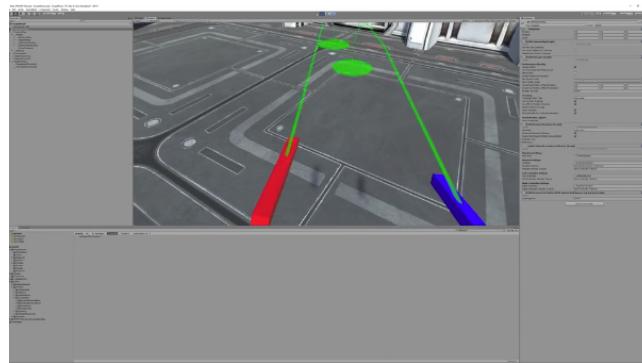


Figura 3.15: Curva que muestra la ubicación de la teleportación al tocar los thumbstick de los controles.

Para la adición de la acción de teleportación, la cual es la que permitirá el movimiento del usuario dentro del entorno de realidad virtual. Se tuvo la opción de implementar dos tipos de acciones de teleportación, `Teleport.Instant` y `Teleport.Dash`, se eligió la primera ya que supone una menor probabilidad de causar vección en el usuario a que no se percibe movimiento alguno en la acción de teleportación.

Se implementó VRTK/Locomotion/Teleporter y arrastrando el `Teleporter.Prefab` instantánea a la escena.

Se estableció el campo de validez de la cámara del script de `TeleporterFacade` en el objeto de escena `SceneCameras`.

Se crearon dos nuevos `GameObjects` vacíos para adjuntar las entradas de los botones y se adjunto el script `OVRInputButtonAction` a cada uno de ellos.

Se estableció el valor de la propiedad táctil de ambos scripts `OVRInputButtonAction` en `Thumbstick` primario. Se estableció el valor de la propiedad del controlador en `L.Touch` y `R.Touch` respectivamente.

```

using System.Collections.Generic;
using UnityEngine;
using Zinnia.Action;

public class OVRInputButtonAction : BooleanAction {
    public OVRInput.Controller controller = OVRInput.Controller.Active;
    public OVRInput.Button button;

    void Update() {
        Receive(OVRInput.Get(button, controller));
    }
}

```

Para cada objeto prefabricado Curva de puntero de objeto, se asignó los `GameObjects` correspondientes con el script `OVRInputButtonAction` al campo Acción de selección en el componente Fachada de puntero.

Para cada puntero de `ObjectPointer.Curved`, se agregó un nuevo objeto `EventData` en la lista Datos de acción seleccionados.

Se asignó el objeto `Teleporter.Instant` al campo de objeto ubicando y seleccionando `TeleporterFacade` y luego `Teleport`.

Implementando los procesos pasados se logra que el usuario pueda teleportarse dentro del entorno

virtual.

De esta manera al tocar cualquier thumbstick este invocará una curva la cual nos mostrará dónde será la teleportación una vez esta sea implementada.

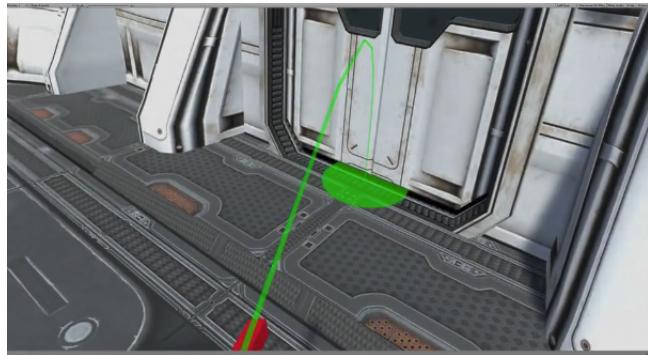


Figura 3.16: Curva que muestra la ubicación de la teleportación al tocar los thumbstick del control izquierdo.



Figura 3.17: Curva que muestra la ubicación de la teleportación al tocar los thumbstick de los controles.

En la figura 3.17 se puede notar un oscurecimiento, el cual es representativo del desvanecimiento que se implementó para reducir la vección del usuario y evitar cinetosis en los usuarios que pudieran llegar a ser propensos a ella.

Se procedió a integrar un indicador de flecha el cual servirá para indicar a de cara a que posición se estará cuando se realice la teleportación, así ampliando las posibilidades de interacción del usuario y facilitando las mismas.

Se importó un modelo de flecha en la vista Proyecto y fue arrastrado a la escena debajo del objeto de escena ValidContainer ubicado dentro de la jerarquía de objetos de escena de Destino para cada prefab ObjectPointerCurved.

Se ajustó la transformación del nuevo objeto de flecha para que sea visible dentro de la escena y asigne material PointerDefaultValid al renderizador de malla.

Se crearon dos nuevos GameObjects para cada control y obtener la dirección del stick del control vacíos y integró el script OVRInputAxis2DAction a cada uno de ellos.

Se estableció el valor de la propiedad táctil de ambos scripts OVRInputAxis2DAction en el control primario así como el valor de la propiedad del controlador en L Touch y R Touch respectivamente.

Se implementa el prefabricado AxisRotator a la escena.

Se cambia el nombre del Prefab a una convención de nombres AxisRotator.L y se realiza una copia para la mano derecha ya que implemento de la misma manera con el nombre AxisRotator.R Se crearon dos nuevos GameObjects vacíos debajo de cada uno de los objetos OVRInputAxis2DAction creados anteriormente y se agrego el script Vector2ToFloat a los cuatro.

```

using System.Collections;
using System.Collections.Generic;
using UnityEngine;
using Zinnia.Action;

public class OVRInputAxis2DAction : Vector2Action
{
    public OVRInput.Controller controller = OVRInput.Controller.Active;
    public OVRInput.Axis2D axis;

    void Update() {
        Receive(OVRInput.Get(axis, controller));
    }
}

```

Se estableció el valor del eje del script Vector2ToFloat en el eje correcto, en este caso, una X y una Y para cada objeto OVRInputAxis2DAction.

En cada secuencia de comandos OVRInputAxis2DAction, se agregaron dos nuevos objetos Vector2 a la lista de valores cambiados de Vector2.

Se asignaron los objetos Vector2ToFloat a cada campo. Usando el menú desplegable, seleccione Vector2ToFloat y luego DoTransform.

Use el botón ^{“A”}gregar componente.^{en} en el Inspector para agregar el componente de script FloatAction a cada objeto Vector2ToFloat.

En cada scriptVector2ToFloat, agregue un nuevo objeto de acción individual a la lista de acciones individuales transformadas y asigne el objeto primario.

Usando el menú desplegable, seleccione FloatAction y luego Recibir.

Se configuró cada objeto AxisRotator asignando un objeto FloatAction en los campos Eje lateral lateral y Eje longitudinal correspondientes en el script AxisRotatorFacade para los ejes X e Y de cada mano, respectivamente.

En la secuencia de comandos de TeleporterFacade, establezca el valor de Uso de desplazamiento en Offset siempre con rotación de destino.

Implementando esto se logra que un puntero aparezca en una flecha en la dirección indicada para que el usuario pueda elegir su dirección de orientación al elegir la ubicación de teleportación como se muestra en la figura 3.18.

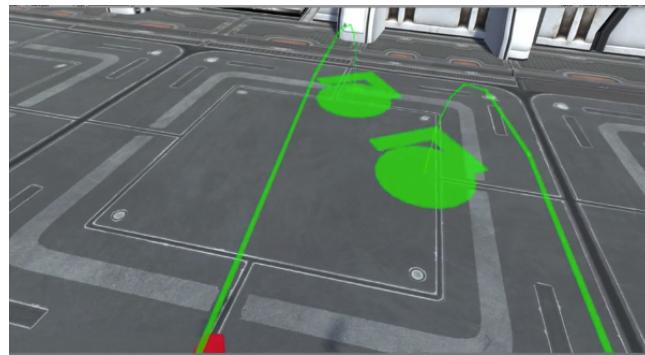


Figura 3.18: Curva que muestra la ubicación de la teleportación y posición del stick al interactuar con los thumbstick de los controles

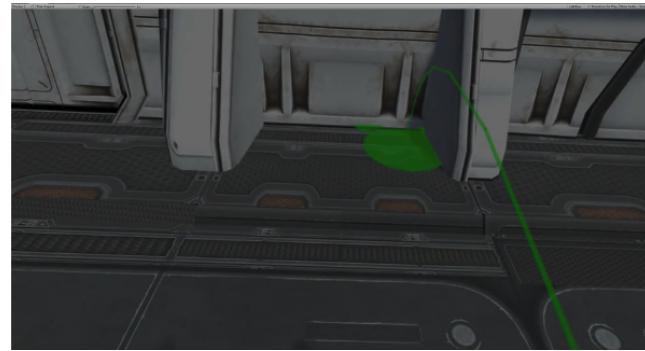


Figura 3.19: Curva que muestra la ubicación de la teleportación y posición del stick al interactuar con los thumbstick de los controles

3.14.2. Puntos de teleportación

Los puntos de teleportación son los cuales resaltan una locación dentro del entorno virtual la cual se quiere o requiere que el usuario vaya con facilidad hacia ellas.

Se agregó una nueva capa llamada "Teleportable" se estableció el objeto FloorCollider en la nueva capa.

Se creó un nuevo GameObject vacío y se agregaron componente en el Inspector para adjuntar el script AnyLayerRule.

Se estableció el campo LayerMask en el script AnyLayerRule en la capa Teleportable.

```
namespace VRTK.Prefabs.Locomotion.DestinationLocations
{
    using UnityEngine;
    using UnityEngine.Events;
    using Malimbe.MemberChangeMethod;
    using Malimbe.MemberClearanceMethod;
    using Malimbe.XmlDocumentationAttribute;
    using Malimbe.PropertySerializationAttribute;
    using Zinnia.Rule;
```

```

using Zinnia.Data.Attribute;

/// <summary>
/// The public interface into the DestinationLocation Prefab.
/// </summary>
public class DestinationLocationFacade : MonoBehaviour
{
    #region Location Settings
    /// <summary>
    /// Determines if the location is in the locked and unusable state.
    /// </summary>
    [Serialized]
    [field: Header("Location Settings"), DocumentedByXml]
    public bool IsLocked { get; set; }
    /// <summary>
    /// Whether to apply the rotation of the custom destination location to the selected a
    /// </summary>
    [Serialized]
    [field: DocumentedByXml]
    public bool ApplyDestinationRotation { get; set; } = true;
    /// <summary>
    /// Allows to optionally determine which <see cref="SurfaceData"/> sources can affect
    /// </summary>
    [Serialized, Cleared]
    [field: DocumentedByXml]
    public RuleContainer SourceValidity { get; set; }
    #endregion

    #region Location Events
    /// <summary>
    /// Emitted when the Destination Location is entered for the first time.
    /// </summary>
    [Header("Location Events"), DocumentedByXml]
    public UnityEvent HoverActivated = new UnityEvent();
    /// <summary>
    /// Emitted when the Destination Location is entered.
    /// </summary>
    [DocumentedByXml]
    public DestinationLocation.SurfaceDataUnityEvent Entered = new DestinationLocation.Sur
    /// <summary>
    /// Emitted when the Destination Location is exited.
    /// </summary>
    [DocumentedByXml]
    public DestinationLocation.SurfaceDataUnityEvent Exited = new DestinationLocation.Surf
    /// <summary>
    /// Emitted when the Destination Location is exited for the last time.
    /// </summary>
    [DocumentedByXml]
    public UnityEvent HoverDeactivated = new UnityEvent();
}

```

```

/// <summary>
/// Emitted when the Destination Location is activated.
/// </summary>
[DocumentedByXml]
public DestinationLocation.TransformDataUnityEvent Activated = new DestinationLocation
/// <summary>
/// Emitted when the Destination Location is deactivated.
/// </summary>
[DocumentedByXml]
public UnityEvent Deactivated = new UnityEvent();
#endregion

#region Reference Settings
/// <summary>
/// The linked Internal Setup.
/// </summary>
[Serialized, Cleared]
[field: Header("Reference Settings"), DocumentedByXml, Restricted]
public DestinationLocationConfigurator Configuration { get; protected set; }
#endregion

/// <summary>
/// Called after <see cref="IsLocked"/> has been changed.
/// </summary>
[CalledAfterChangeOf(nameof(IsLocked))]
protected virtual void OnAfterIsLockedChange()
{
    Configuration.SetLockedState(IsLocked);
}

/// <summary>
/// Called after <see cref="ApplyDestinationRotation"/> has been changed.
/// </summary>
[CalledAfterChangeOf(nameof(ApplyDestinationRotation))]
protected virtual void OnAfterApplyDestinationRotationChange()
{
    Configuration.LocationController.ApplyDestinationRotation = ApplyDestinationRotation;
}

/// <summary>
/// Called after <see cref="SourceValidity"/> has been changed.
/// </summary>
[CalledAfterChangeOf(nameof(SourceValidity))]
protected virtual void OnAfterSourceValidityChange()
{
    Configuration.LocationController.SourceValidity = SourceValidity;
}
}

```

Se estableció el campo TargetValidity en el script TeleporterFacade en AnyLayerRule script gameobject.

Para cada ObjectPointerCurved, se asignó AnyLayerRule al campo TargetValidity del script PointerFacade.

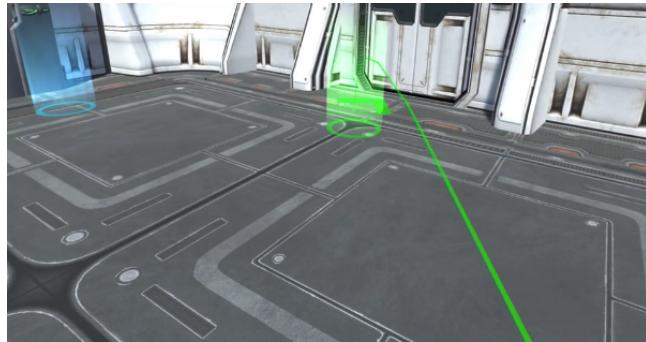


Figura 3.20: Desvanecimiento al realizar la teleportación y posición del stick al interactuar con los thumbstick del control

3.14.3. Giros rápidos, entradas personalizadas, oclusión del usuario

En esta sección se implementan giros de la cámara para facilitar al usuario la interacción en el entorno virtual así como la personalización y mejoras de interacción con los controles las cuales pretenden hacer más intuitivo el movimiento del usuario en el sistema de realidad virtual, además se implementan occlusiones en determinados lugares para evitar que el mismo usuario pueda ver a través de modelos 3D no deseados mermando así la experiencia de usuario.

Se creó un nuevo GameObject vacío para obtener cuando el stick es tocado y adjunto el script de TeleporterActivation y configurando el campo Controlador en R Touch.

Se creó otro nuevo GameObject vacío y adjunto la secuencia de comandos TeleporterSelection y configuro el campo Controlador en R Touch.

Se crearon dos nuevos GameObjects vacíos para ser agregados al InputHandler bajo el script TeleporterSelection GameObject y adjuntó el script FloatAction a cada uno.

Se agregó el componente en el Inspector para agregar los objetos del juego de script FloatAction a los campos Extraer X e Extraer Y del script TeleporterSelection.

Se asignaron los campos Eje lateral y Eje longitudinal en la secuencia de comandos AxisRotatorFacade a las dos nuevas secuencias de comandos de FloatAction GameObjects.

Fueron deshabilitados los objetos de juego de script OVRInputTouch, OVRInputButtonAction y OVRIInputAxis2DAction para la mano derecha.

Fueron reasignados los campos Acción de activación y Acción de selección en la secuencia de comandos de PointerFacade de la derecha a la secuencia de comandos TeleporterActivation y TeleporterSelection GameObjects, respectivamente.

Se inhabilitó el prefabricado ObjectPointerCurved de la izquierda en la escena y el script OVRInputTouch, OVRInputButtonAction GameObjects para la mano izquierda.

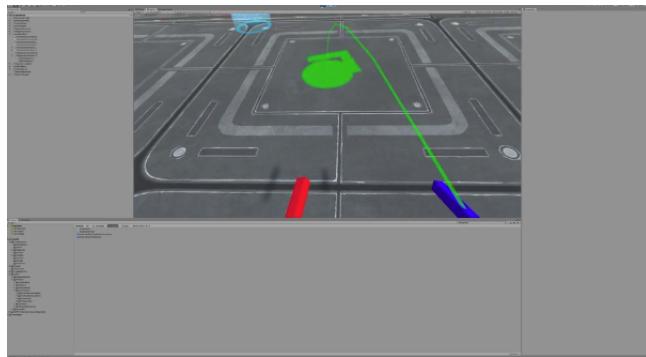


Figura 3.21: Curva de teleportación habilitada solamente para el control derecho

En el script AxesToVector3Facade adjunto al PrefabObject, estableciendo el Tipo de uso del eje Direccional.

Se estableció el campo Eje lateral en el valor del eje X FloatAction script GameObject ubicado debajo de la mano izquierda OVRInputAxis2DAction script GameObject.

Se estableció el valor del campo Multiplicador de velocidad lateral en 45 y el valor del campo Multiplicador de velocidad longitudinal en 0.

Agregando una secuencia de comandos Vector3Cache a la secuencia de comandos AxesToVector3Facade GameObject.

Se agregó una nueva acción Vector3 a la lista de acciones Vector3 procesadas en el script AxesToVector3Facade y fueron agregadas al GameObject padre. Estableciendo las funciones en Vector3Cache/CachedData.

Fue agregado un script CameraColorOverlay al script GameObject de AxesToVector3Facade.

Se agregó un nuevo Vector3 a la lista de Vector3 modificado en el script Vector3Cache y se agrego el objeto del juego principal. Estableciendo las funciones en CameraColorOverlay/link.

En el script CameraColorOverlay, se asignó el objeto de escena SceneCameras al campo Validez de la cámara.

Se implementó el material de TeleportFade en el proyecto y asignando al campo Material de superposición en el script CameraColorOverlay y cambie el valor del campo Eliminar duración a 0.5.

Se creó un nuevo GameObject vacío y se agrego el componente para agregar el script Vector3ToVector2 y un script Vector2ToVector3.

Fue agregada una nueva acción Vector3 a la lista de acciones Vector3 procesadas en el script AxesToVector3Facade y agregando el GameObject del script Vector3ToVector2. Se estableció la función en Vector3ToVector2/DoTransform.

Se agregó una nueva acción Vector2 a la lista de acciones Transform(Vector2) en el script Vector3ToVector2 y agregó el GameObject principal. Se establecieron las funciones en Vector2ToVector3.DoTransform.

Se establecieron dentro del campo Mapa de coordenadas en X a Y e Y a X excluyendo Z en el script Vector3ToVector2. Se agregó el script TransformEulerRotationMutator al objeto de juego de script Vector3ToVector2.

En el script Vector2ToVector3, fue agregada una nueva acción Vector3 a la lista de acciones Transform(Vector3). Asignando el GameObject principal y estableciendo el menú desplegable en TransformEulerRotationMutator/DoIncrementProperty.

Estableciendo el campo Destino en el script TransformEulerRotationMutator para el objeto de escena PlayAreaAlias. Se activan las opciones usar valores locales y mutar en el eje Y e inhabilitar las opciones mutar en el eje X y mutar en el eje Z.

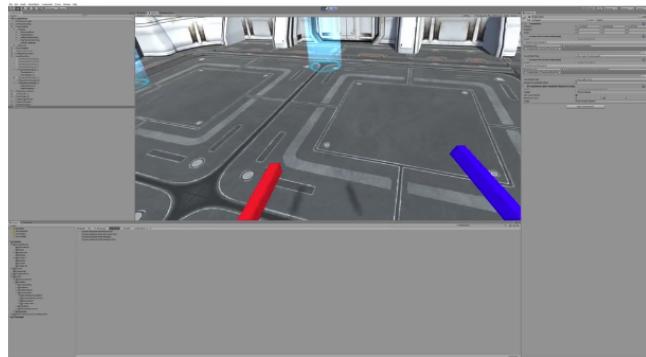


Figura 3.22: Captura previa de giro rápido con stick de control izquierdo



Figura 3.23: Captura posterior de giro rápido con stick de control izquierdo

Deshabilitando el objeto SnapToFloor debajo del objeto Teleporter_.InstantPrefab en la escena. Utilizando el prefabricado CollisionFader en el proyecto y arrastrándolo a la escena debajo del objeto de escena HeadsetAlias.

En el script CameraColorOverlay adjunto al prefabricado CollisionFader, se estableció el campo CameraValidity en el objeto de escena SceneCameras.

Fueron creadas dos nuevas capas llamadas FadeCamera y FadeOut. Colocando el objeto prefabricado CollisionFader en la capa FadeCamera.

Se colocó el objeto de la escena principal en la capa FadeOut. Se cambió la matriz de colisión para que la capa FadeCamera solo colisione con la capa FadeOut.

Cambiando el valor del campo ClearFlags en los scripts de la cámara bajo el GameObject de escena OVRCameraRig a color sólido y configurando el color en negro.

3.15. Presencia e interacción de las manos

Desde la introducción de los controles Oculus Touch para el sistema Oculus Rift y similares, la presencia de las manos ha sido la manera principal de proveer una experiencia de realidad virtual, los usuarios pueden encontrar manos virtuales que simulan las que poseen en realidad, esto nos ayuda a utilizar el conocimiento de los usuarios del mundo real y trasladarlo a el entorno virtual en lugar de tener que crear y asignar botones y crear controles complicados ya que las manos en la realidad virtual son tan importantes como en la realidad.

La implementación de manos en el sistema de realidad virtual se realizó de la manera siguiente:

3.15.1. Agregar manos

Se integraron los prefabricados CustomHandLeft y CustomHandRight en el proyecto y se adicionaron a los prefabricados LeftControllerAlias y RightControllerAlias correspondientes en la escena. Deshabilitando el script OVRGrabber en los objetos de escena CustomHandLeft y CustomHandRight. Deshabilite el componente MeshRenderer para los objetos Cube en las jerarquías LeftControllerAlias y RightControllerAlias.

Se establecieron la capa de los objetos de escena CustomHandLeft y CustomHandRight para ignorar Raycast.

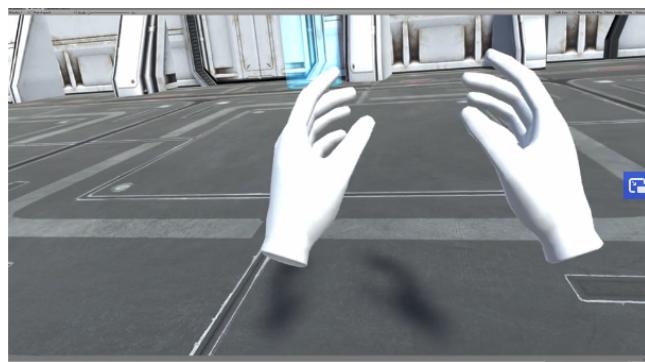


Figura 3.24: Cambio de placeholders por modelos de manos en 3D

Un método de configuración y refinamiento de la posición de las manos es utilizando el HMD y se compara la posición de sus manos reales con la de las manos virtuales, otro método que se utilizó fue cambiar los modelos dentro del entorno mediante prueba y error, comprobando qué tan similar es la localización de los dedos conforme a la realidad comparada a lo que se ve en el entorno virtual.

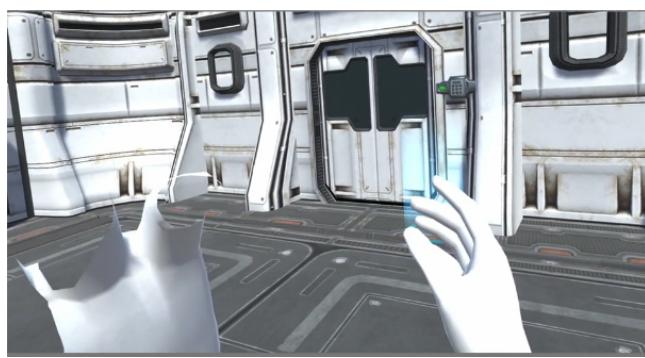


Figura 3.25: Oclusión deshabilitada para modelo de manos 3D

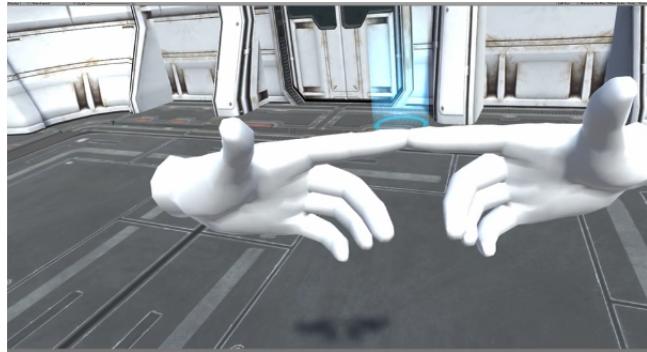


Figura 3.26: Refinado de localización de manos en el entorno virtual

Cabe mencionar que debido a la diferencia de complejidad de los humanos no se puede realizar una configuración universal de estos elementos.

Se localizan los modelos OculusTouchRift..Left y OculusTouchRift..Right ubicados en la escena LeftControllerAlias y RightControllerAlias respectivamente para hacer una representación del control en el entorno virtual, si se decide utilizarse en un futuro.

3.15.2. Interactuando con entorno

Se inhabilitó el MeshRenderer en el objeto ExampleAvatar en cada una de las jerarquías de objetos de Interactor.

Creando dos nuevos GameObjects para agregarlo al InputHandler y poder controlar los gatillos posteriormente y se agrega el componente en el inspector para agregar los scripts OVRInputAxis1DAction y FloatToBoolean a cada objeto.

En los scripts FloatToBoolean, se establezca el campo límites positivos entre 0,75 y 1. Esto para tener una sensación de agarre conforme se va presionando el botón y no sea cuando ya está presionado completamente el gatillo.

En cada secuencia de comandos OVRInputAxis1DAction, se establezca el campo controlador en los valores L Touch y R Touch correspondientes y establezca el campo axis en Disparador manual primario. Se agrega componente en el inspector para agregar el script BooleanAction a cada objeto.

En los scripts OVRInputAxis1DAction, se agregó un nuevo objeto de acción individual en la lista de acciones individuales de ValueChanged. Agregando el GameObject principal y se estableció el script en FloatToBoolean/DoTransform.

En los scripts FloatToBoolean, se agregó un nuevo objeto de acción booleana en la lista de acciones booleanas transformadas. Agregando el GameObject principal y estableciendo en BooleanAction/Receive.

En los scripts de InteractorFacade en los prefabricados de Interactor en la escena, estableciendo el campo GrabAction en los GameObjects de script BooleanAction correspondientes.

Se utiliza el prefab Interactable.Primary_.Grab.Secondary Swap en el proyecto y se agregó debajo de la jerarquía de objetos de escena y se hizo coincidir su transformación para los valores de transformación del objeto de escena del modelo en 3D con el cual se quiere interactuar.

Se deshabilitó el objeto DefaultMesh en la jerarquía Interactable.Primary_.Grab.Secondary swap object.

Duplicando el objeto de escena del modelo 3D deseado y se vuelve a pintar debajo del objeto Meshes en la jerarquía Interactable.Primary_.Grab.Secondary_.swap object y se ponga a cero los valores de transformación cuando sea necesario.

Se inhabilitó el objeto de escena original del modelo 3D deseado.

Si es necesario se ajusta la nueva transformación del modelo en 3D en los grados necesarios en el eje Y y se ajusta la transformación Interactable.Primary_Grab.Secondary swap object para ubicarse en el entorno 3D correctamente.

3.15.3. Interacciones manuales adicionales

Para dar una sensación de inmersión más fidedigna se integran los siguientes elementos, estos harán que la gravedad y la velocidad que es impuesta a un objeto se mantenga.

Se agregó el script OVRAnchorVelocityEstimator a los objetos de escena LeftHandAnchor, RightHandAnchor y CenterEyeAnchor.

En cada script OVRAnchorVelocityEstimator fue establecido el campo Tracked GameObject en el objeto padre del juego y el campo Relative To en el objeto de la escena TrackingSpace.

En el script LinkedAliasAssociationCollection adjunto al objeto de escena OVRCameraRig, establezca el campo Headset Velocity Tracker en el objeto de escena CenterEyeAnchor, el campo Left Controller Velocity Tracker en el objeto de escena LeftHandAnchor y el campo en el objeto de escena RightHandAnchor.

3.16. Integración de componentes del producto

Para el integración de producto, como el mismo nombre de esta fase lo menciona los productos antes realizados, los componentes multimedia y de software finalmente se unen dentro del sistema.

3.16.1. Generación de interacción con modelos 3D

Para poder importar los modelos del sistema digestivo del cuerpo humano estos son agregados dentro de la misma carpeta del proyecto y seleccionar nuevo Asset.

Posteriormente estos se agregan a la escena principal del sistema, dependiendo de cuales son los que se deseen integrar.

Duplicando el objeto de escena del modelo 3D deseado y se vuelve a pintar debajo del objeto Meshes en la jerarquía Interactable.Primary_Grab.Secondary_swap object y se ponga a cero los valores de transformación cuando sea necesario.

Se inhabilitó el objeto de escena original del modelo 3D deseado.

Si es necesario se ajusta la nueva transformación del modelo en 3D en los grados necesarios en el eje Y y se ajusta la transformación Interactable.Primary_Grab.Secondary swap object para ubicarse en el entorno 3D correctamente.

De esta manera se integran rápidamente los elementos multimedia diseñados anteriormente.

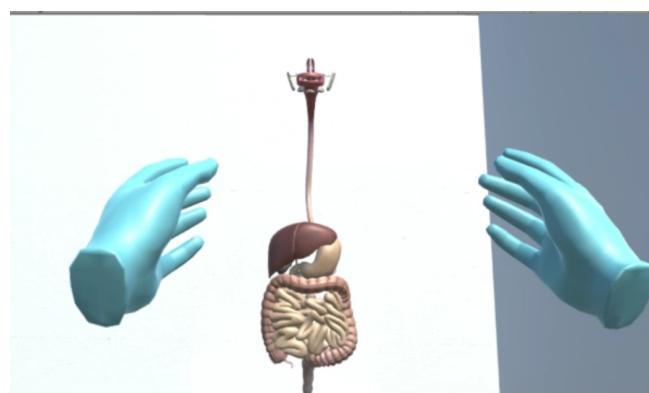


Figura 3.27: Integración de modelo del sistema digestivo 3D dentro del entorno 3D

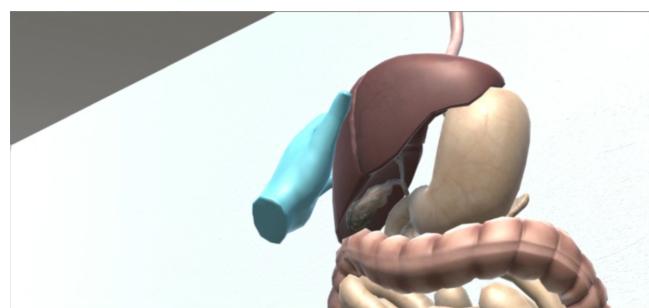


Figura 3.28: - Interacción con modelo del hígado del sistema digestivo 3D dentro del entorno 3D

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[32]. 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 RV

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[33].

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**

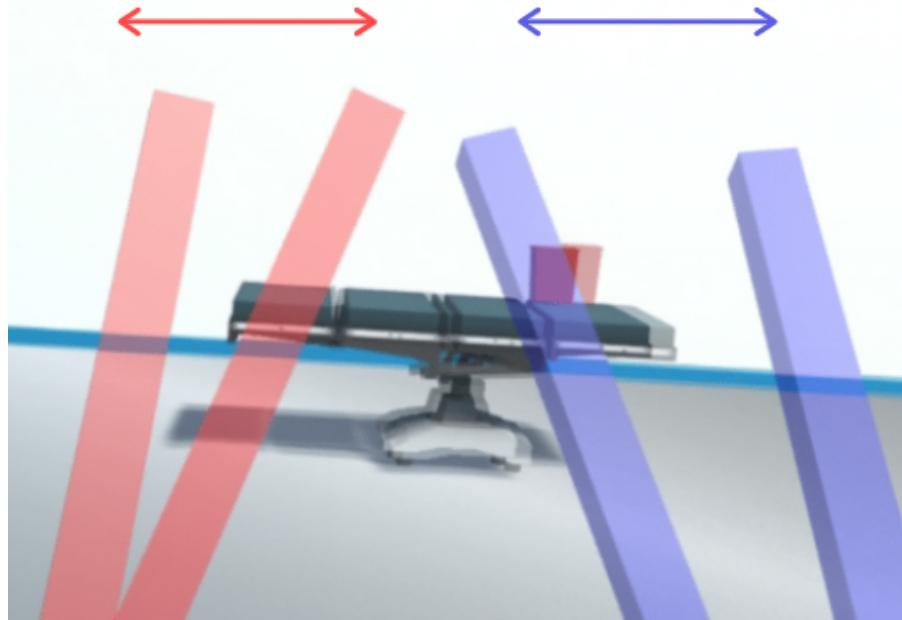


Figura 4.1: Placeholders con forma de prismas rectangulares representando y mostrando el movimiento de las manos con los controles Oculus Touch.

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**

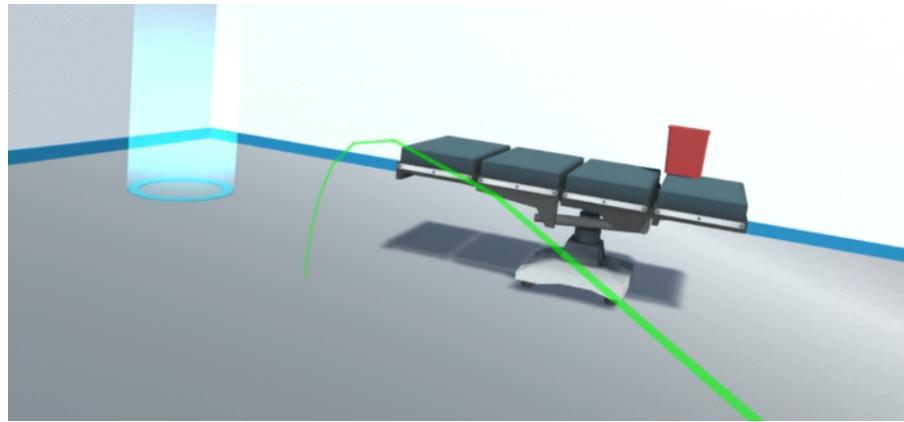


Figura 4.2: Línea verde indicadora desde el placeholder hacia un punto en el entorno virtual(Simulando una trayectoria)

■ **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**

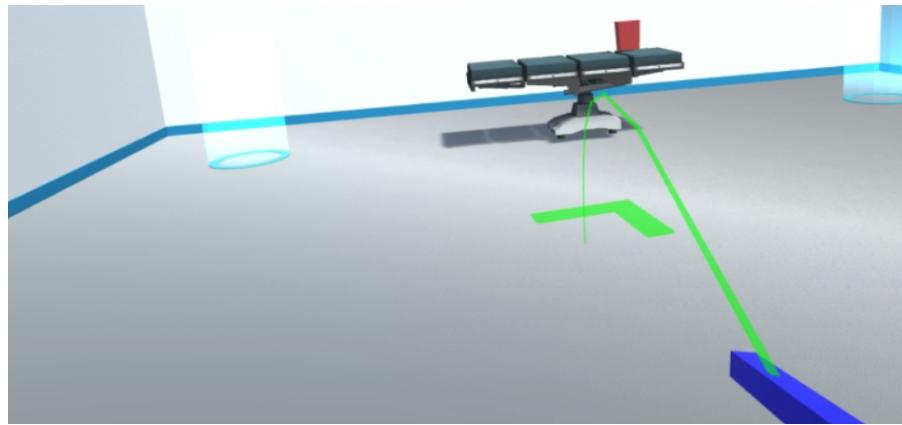


Figura 4.3: Uso de la curva indicadora para especificar un lugar y una orientación hacia donde se teleportará el usuario.

- **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**

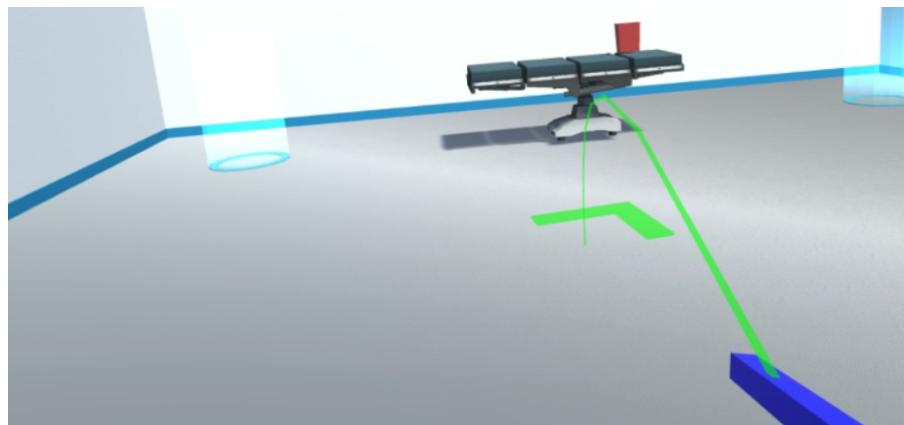


Figura 4.4: Uso de la curva indicadora para especificar un lugar y una orientación hacia donde se teleportará el usuario.

- **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**

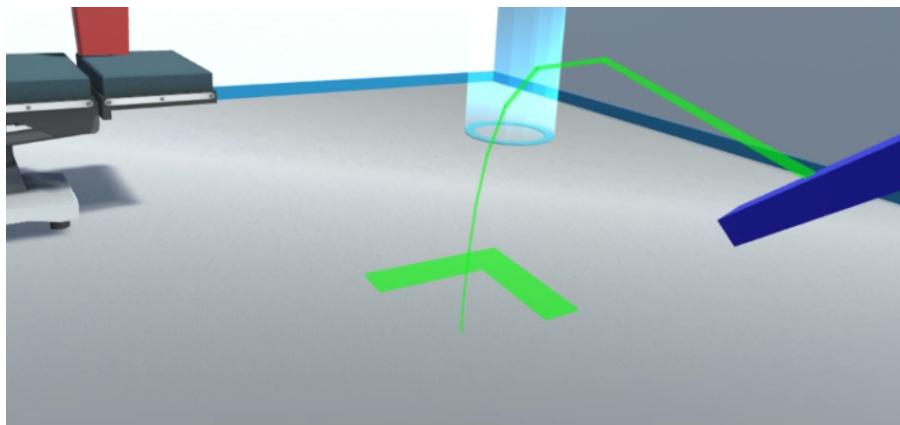


Figura 4.5: Flecha verde en el punto de teleportación, indicadora de la dirección hacia donde estará orientado el usuario una vez teletransportado.

- **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**

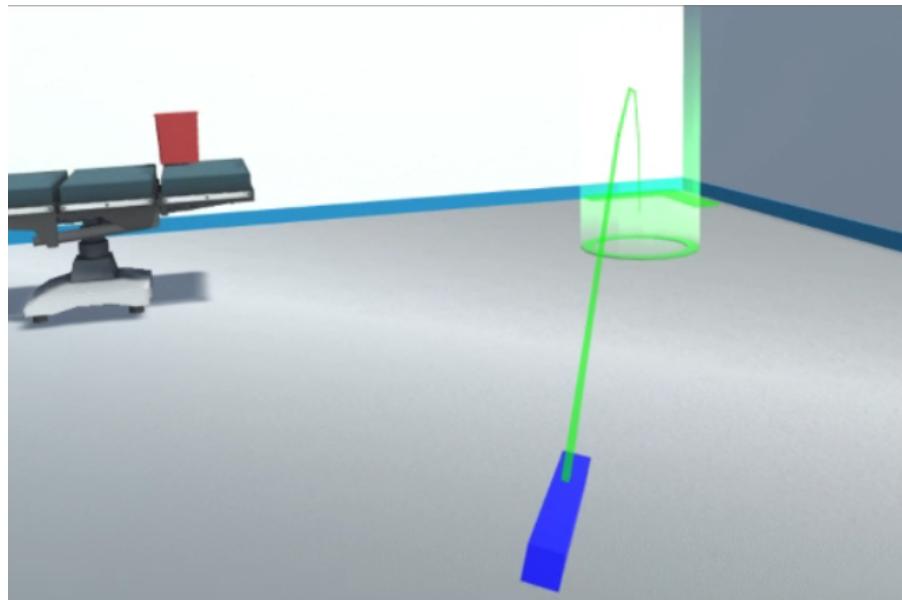


Figura 4.6: Punto de teleportación marcando un lugar específico y preestablecido hacia donde se teleportará.

- **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 mismo y este será mostrado dentro del HMD generando una pequeña alteración de orientación en los ejes antes mencionados.

- **Observaciones**

-

- **Estado**

- Aprobado

- **Capturas de Pantalla**

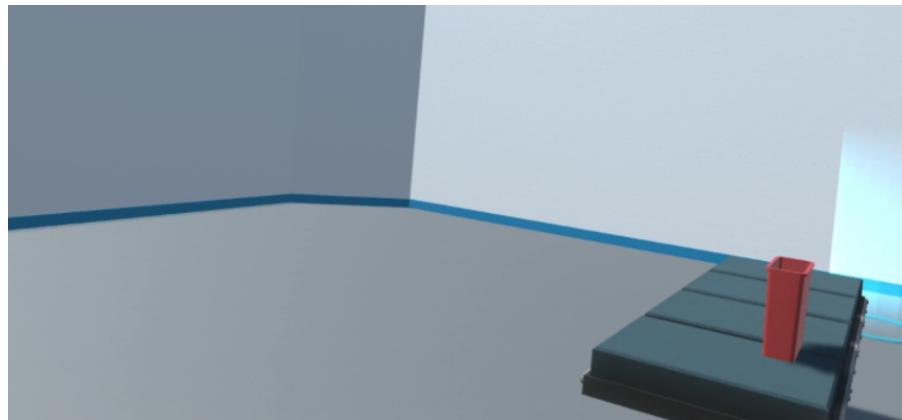


Figura 4.7: Vista descriptiva hacia una orientación en específico.

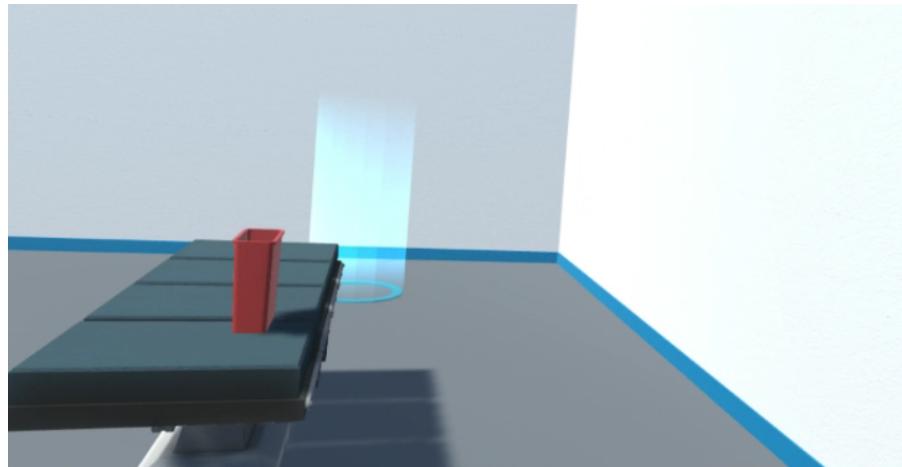


Figura 4.8: Vista descriptiva de un cambio de orientación respecto a la imagen anterior. Sin necesidad de teleportarse.

- **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**

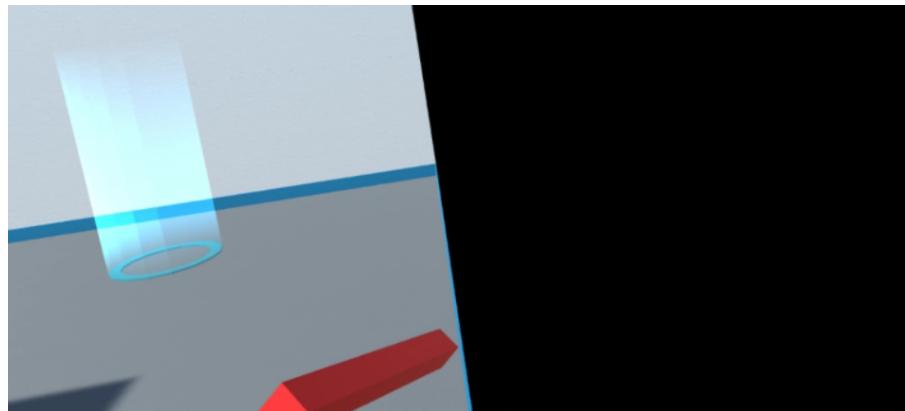


Figura 4.9: Vista descriptiva del impedimento hacia afuera del entorno virtual admitido.

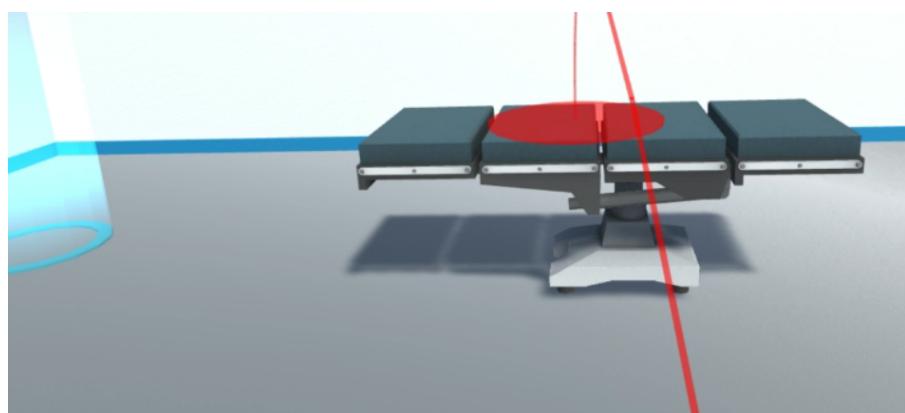


Figura 4.10: Punto rojo sobre una superficie no permitida en el entorno virtual, impidiendo la tele-portación.

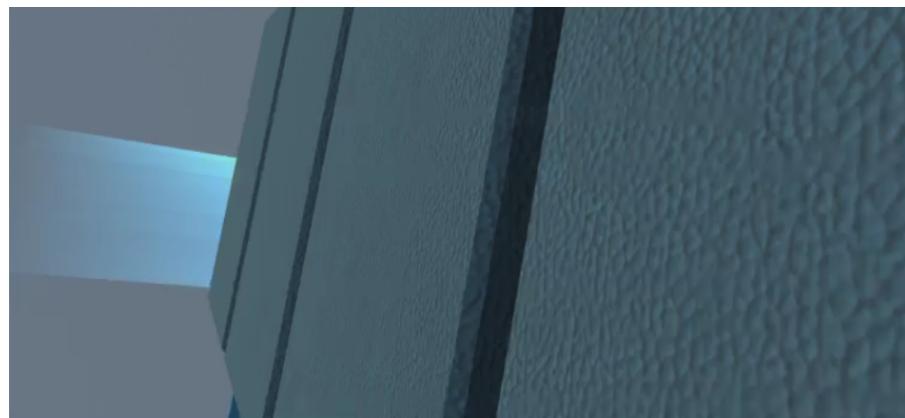


Figura 4.11: Vista del usuario antes de intentar introducirse a un entorno virtual no permitido.



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**

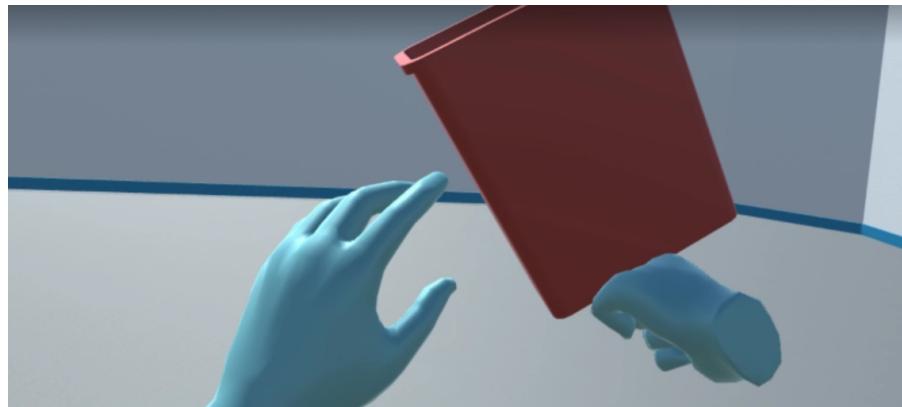


Figura 4.16: Previo a la toma de un objeto

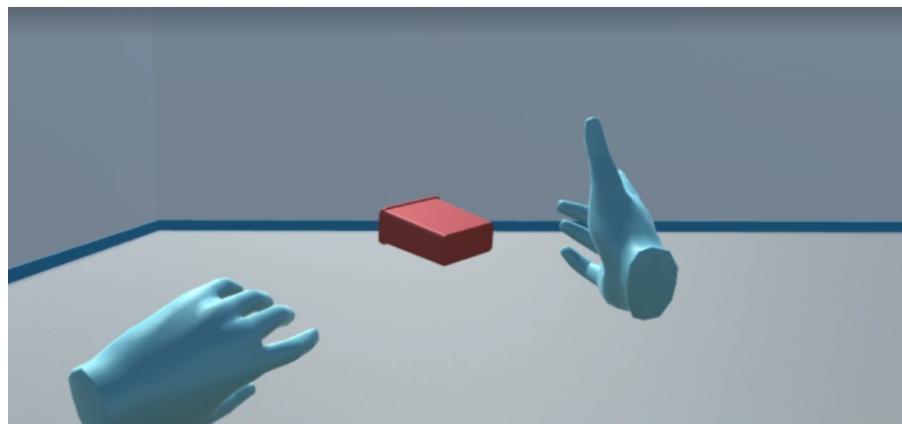


Figura 4.17: Toma de un objeto antes y después de lanzarlo

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**

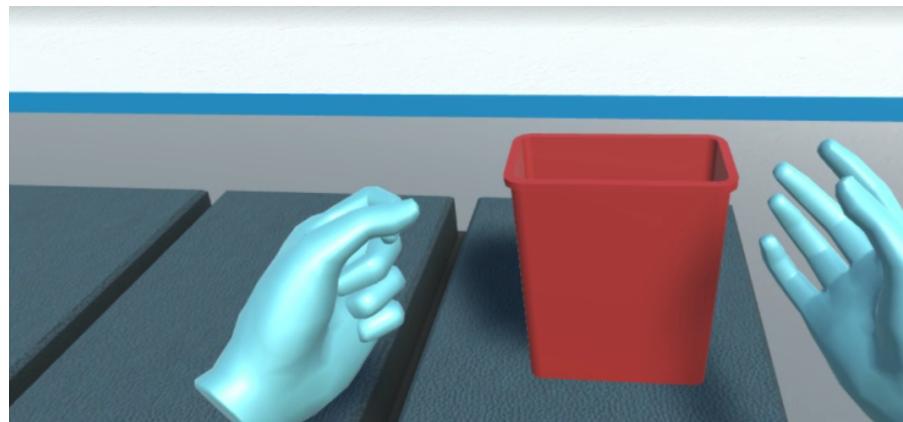


Figura 4.18: Muestra las manos y un objeto antes de ser tomado por las manos

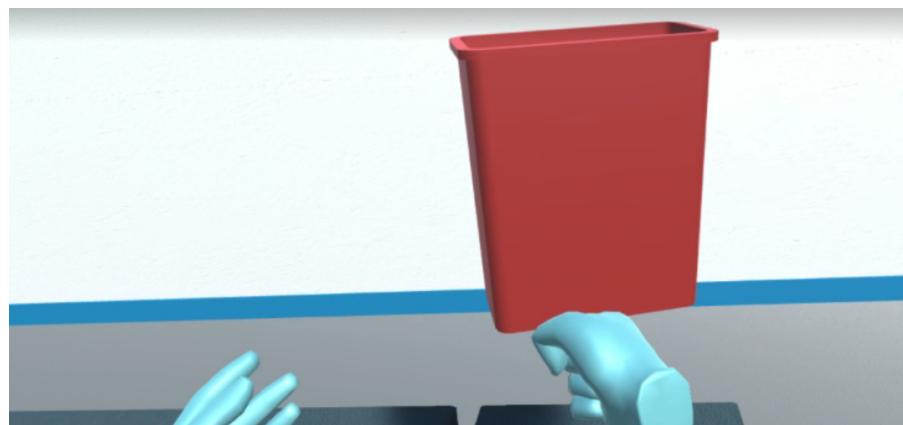


Figura 4.19: Una mano tomando y levantando el objeto

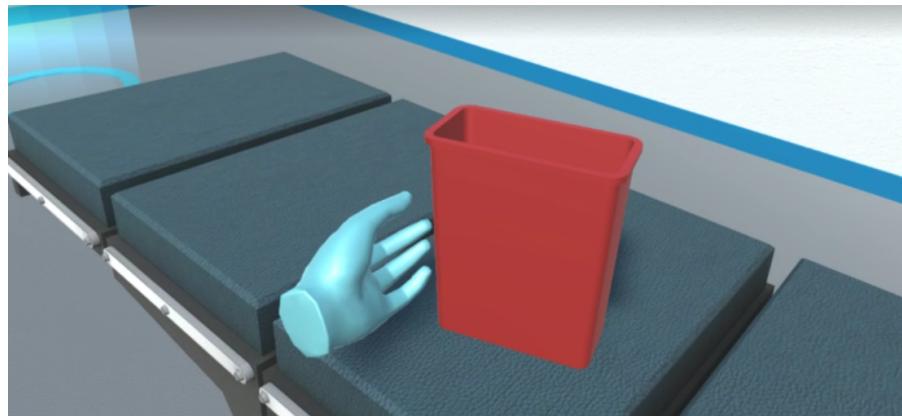


Figura 4.20: Después de pasar el objeto de una mano a otra se vuelve a soltar en un lugar distinto en el que estaba.

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.

web5

Capítulo 5

Conclusiones y Trabajo a Futuro

5.1. Productos Logrados

Se construyó un prototipo de sistema de software que proporciona una experiencia demostrativa en realidad virtual, con algunas características y elementos del sistema digestivo, el cual permite la participación de un usuario utilizando una computadora de forma local. El sistema de hardware que proporciona el entorno virtual está conformado por los controles Oculus Touch ® , el visor de Realidad Virtual Oculus Rift ®.

5.2. Trabajo a futuro

5.3. 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 encuentran 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] n.d., *Mision - Escuela Superior De Medicina*. <https://www.esm.ipn.mx/conocenos/mision.html>.
- [2] P. Moore, “Learning and teaching in virtual worlds: Implications of virtual reality for education,” *Australasian Journal of Educational Technology*, vol. 11, no. 2, 1995.
- [3] P. Norton, “Integrating technology in schools: A cohort process for graduate level inquiry,” *Journal of Information Technology for Teacher Education*, vol. 3, no. 2, pp. 163–174, 1994.
- [4] Statista, *Global augmented/virtual reality market size 2016-2023*, 2019 (accessed February 3, 2014). <https://www.statista.com/statistics/591181/global-augmented-virtual-reality-market-size/>.
- [5] Nielsen, *Unlock Insights About Virtual Reality Early Adopters*, 2019 (accessed February 3, 2014). <http://innovation.nielsen.com/virtual-reality-infographic>.
- [6] 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.
- [7] 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.
- [8] 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.
- [9] M. C. G. Raquel, *Simulación de una línea del Metro con realidad virtual*. Instituto Politecnico Nacional, 2017.
- [10] G. V. D. Samuel, “Sistema de seguimiento de movimiento de las extremidades superiores basado en sensores iniciales para rehabilitación en realidad virtual,” *Universidad Nacional Autónoma de México*, 2020.
- [11] 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.
- [12] n.d., *Perfil De Ingreso - Escuela Superior De Medicina*. <https://www.esm.ipn.mx/oferta-educativa/ver-carrera.html/>.
- [13] A. Villa-Forte, *Introducción al cuerpo humano - Fundamentos - Manual MSD versión para público general*, 2017. <https://www.msdmanuals.com/es-mx/hogar/fundamentos/el-cuerpo-humano/introducci>

- [14] n/d, *Sistemas del cuerpo humano — BIOPEDIA.*, 2018. <https://www.biopedia.com/sistemas-del-cuerpo-humano/>.
- [15] R. De Azevedo Guaura, *Cavidad Abdominal: Anatomía Y Órganos, Funciones*, 2018. <https://www.lifeder.com/cavidad-abdominal>.
- [16] E. Pró, *Anatomía clínica*. Médica Panamericana, 2012.
- [17] J. W. Rohen, C. Yokochi, and E. Lutjen-Drecoll, “Anatomy: A photographic atlas,” p. 300, 2018.
- [18] C. P. Érica, *Tecnologías de Realidad Virtual*, 2001 (accessed March 05, 2020). <http://telematica.cicese.mx/computo/super/cicese2000/realvirtual/Part2.html>.
- [19] 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>
- [20] J. Isdale, *What Is Virtual Reality?*, 2008 (accessed February 20, 2020). <http://vr.isdale.com/WhatIsVR.html>.
- [21] L. Diego, *¿Qué es la realidad virtual?*, 2006. <http://www.uv.es/agentes/publicaciones/aepia>
- [22] W. Bricken, “Learning in virtual reality.,” 1990.
- [23] C. Gonzalez Morcillo, *Curso Básico de Blender*. <https://computacion.cs.cinvestav.mx/acortes/f3d/contenido/02.02.Tecnicas.html>.
- [24] “Unity (game engine) — wikipedia, the free encyclopedia,” 2020. [Online; accessed 29-September-2012].
- [25] G. ENGELS and S. SAUER, “Object-oriented modeling of multimedia applications,” in *Handbook of Software Engineering and Knowledge Engineering: Volume II: Emerging Technologies*, pp. 21–52, World Scientific, 2002.
- [26] S. Sauer and G. Engels, “Uml-based behavior specification of interactive multimedia applications,” in *Proceedings IEEE Symposia on Human-Centric Computing Languages and Environments (Cat. No. 01TH8587)*, pp. 248–255, IEEE, 2001.
- [27] A. G. Miranda, *Diseño funcional y de la interactividad de productos multimedia. ARGN0110*. IC Editorial, 2017.
- [28] K. Beck, M. Beedle, A. Van Bennekum, A. Cockburn, W. Cunningham, M. Fowler, J. Grenning, J. Highsmith, A. Hunt, R. Jeffries, *et al.*, “Manifesto for agile software development,” 2001.
- [29] M. Alger, *Visual design methods for virtual reality*, 2015.
- [30] C. Antonya and D. Talaba, “Design evaluation and modification of mechanical systems in virtual environments,” *Virtual Reality*, vol. 11, no. 4, pp. 275–285, 2007.
- [31] n.d., *Compatibility and Version Requirements*. <https://developer.oculus.com/documentation/unity/unity-req/>.
- [32] N. Direhova, *Design Sprint Methods*. <http://www.garage2020.nl/wp-content/uploads/2017/01/DesignSprintMethods.pdf>.
- [33] N. Pathania, “Elements of continuous delivery,” in *Pro Continuous Delivery*, pp. 1–21, Springer, 2017.

Apéndices

En este anexo 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.

.1. Glándulas salivales

Las glándulas salivales son glándulas exocrinas (glándulas con un conducto excretor por el que sale la sustancia que elaboran) del complejo digestivo superior. Estas segregan saliva. El sistema de glándulas salivales se diferencian o clasifican por su tamaño y por la función que realizan dentro del cuerpo humano, dividiéndose en dos grupos.[40]

Dos parótidas: con unas dimensiones de 6 cm de longitud y 3-4 de ancho cada una, son las glándulas de mayor tamaño, están dispuestas bilateralmente (a ambos lados de la cara) justo detrás del ángulo de la mandíbula, por debajo y delante de los oídos. Son las que producen más cantidad de saliva. Dos submandibulares: se sitúan en el suelo de la boca. Son las más pequeñas de las glándulas mayores. Se encuentran envueltas de tejido conjuntivo. Dos sublinguales: situadas a una profundidad mayor en el suelo de la cavidad oral a posterior. Llamadas también glándulas submandibulares. Su forma es irregular y de un tamaño aproximado al de una nuez.

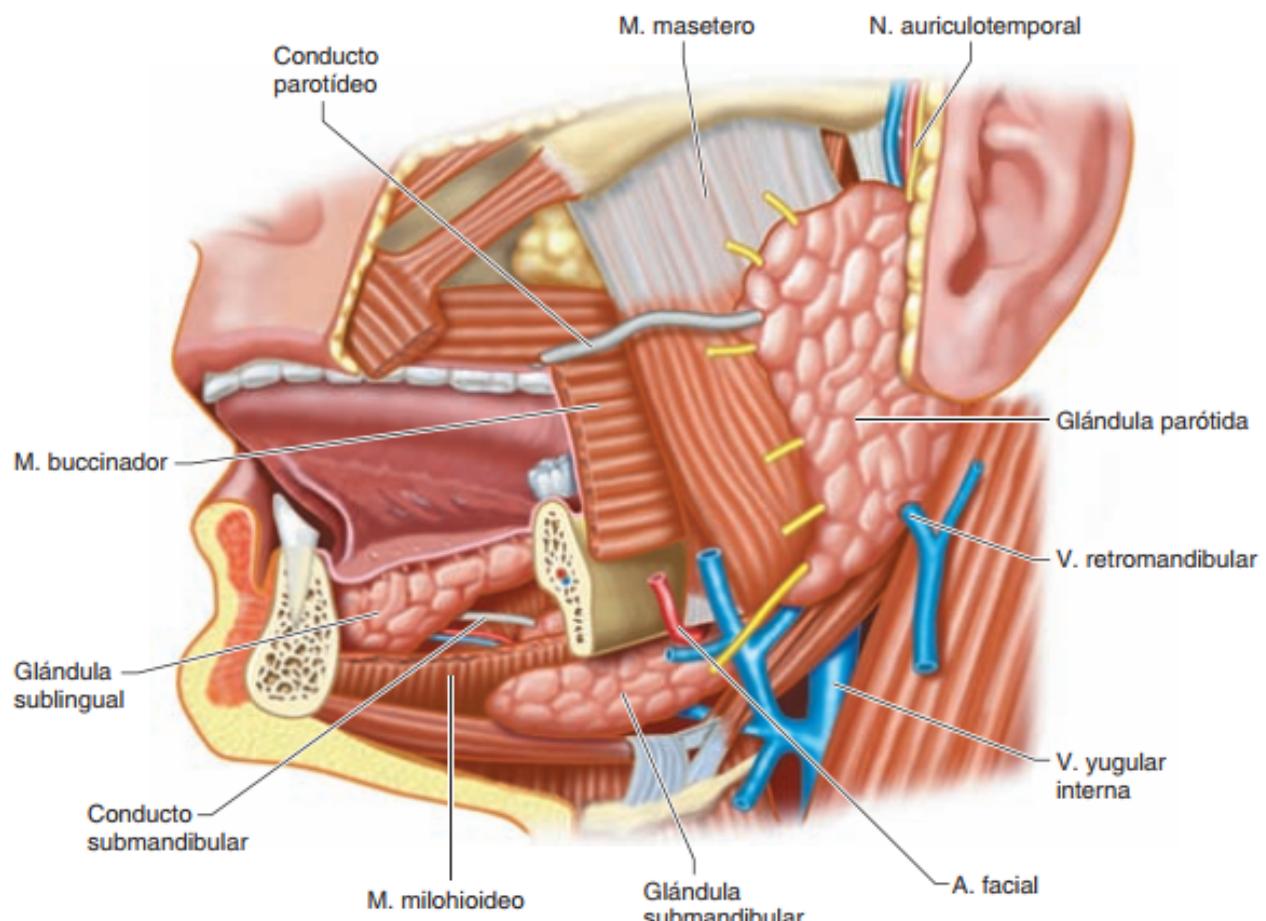


Figura 1: Glándula parótida

.2. Cavidad Oral y Faringe

Los modelos de la cavidad oral se mostrarán en conjunto con los de la faringe dado que son parte de un mismo conjunto.

Las mejillas y los labios limitan la cavidad oral, con un espacio (el vestíbulo) entre las mejillas, los labios y los dientes. Las mejillas contienen el músculo buccinador que, junto con la lengua, mantiene el alimento entre los dientes durante la masticación. [42]

La faringe se sitúa por detrás y por debajo de la boca. Cuando los alimentos y líquidos salen de la boca, descienden a través de la garganta. La deglución de los alimentos y de los líquidos comienza de manera voluntaria y continúa de forma automática. Una pequeña lengüeta muscular (epiglotis) se cierra para evitar que los líquidos y los alimentos bajen por la tráquea hacia los pulmones. El velo del paladar se eleva para evitar que suban a la nariz. La úvula, una pequeña solapa unida al velo del paladar, ayuda a evitar que asciendan los líquidos hacia el interior de la cavidad nasal. [43]

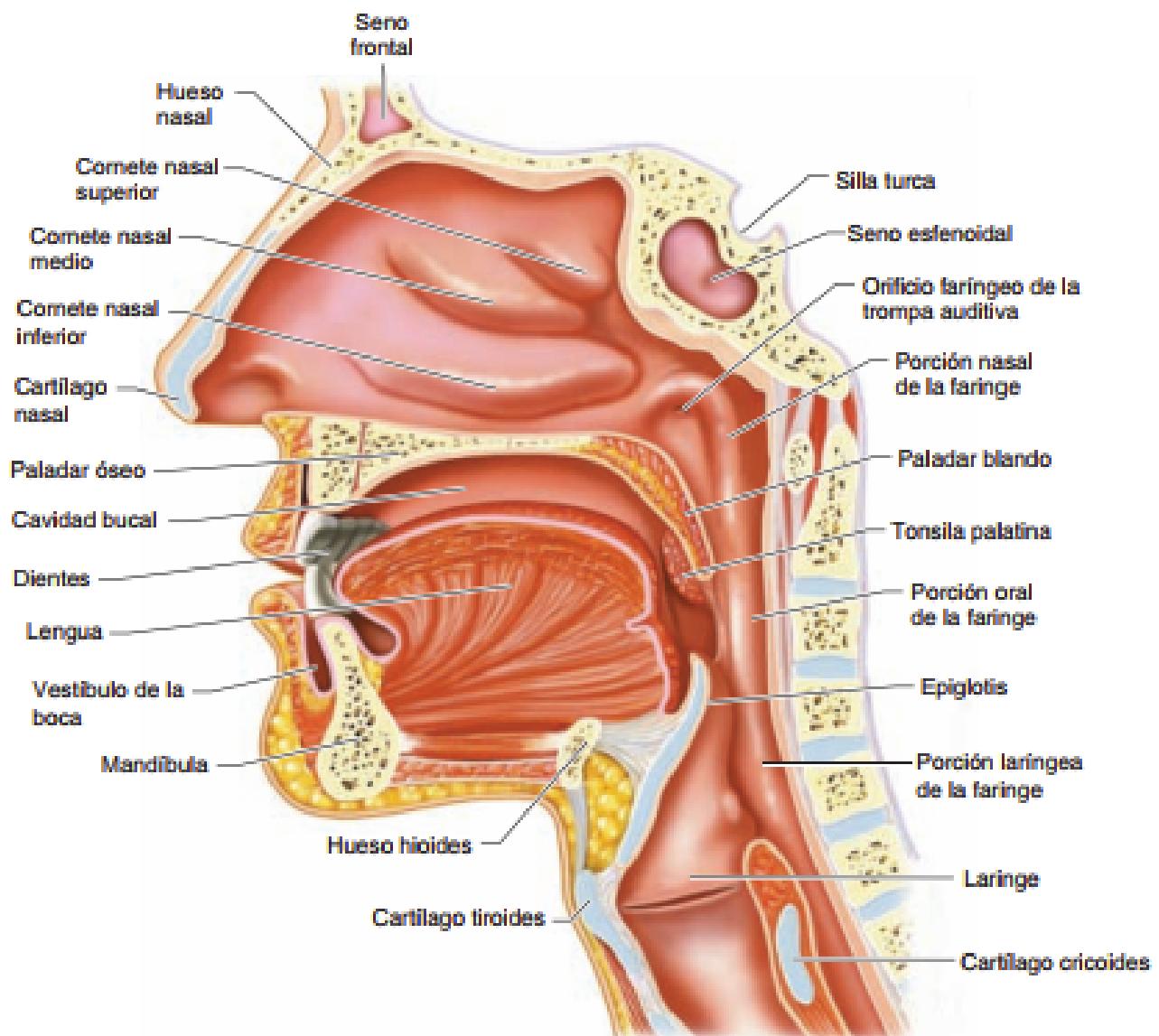


Figura 2: Cavidad bucal (corte sagital)

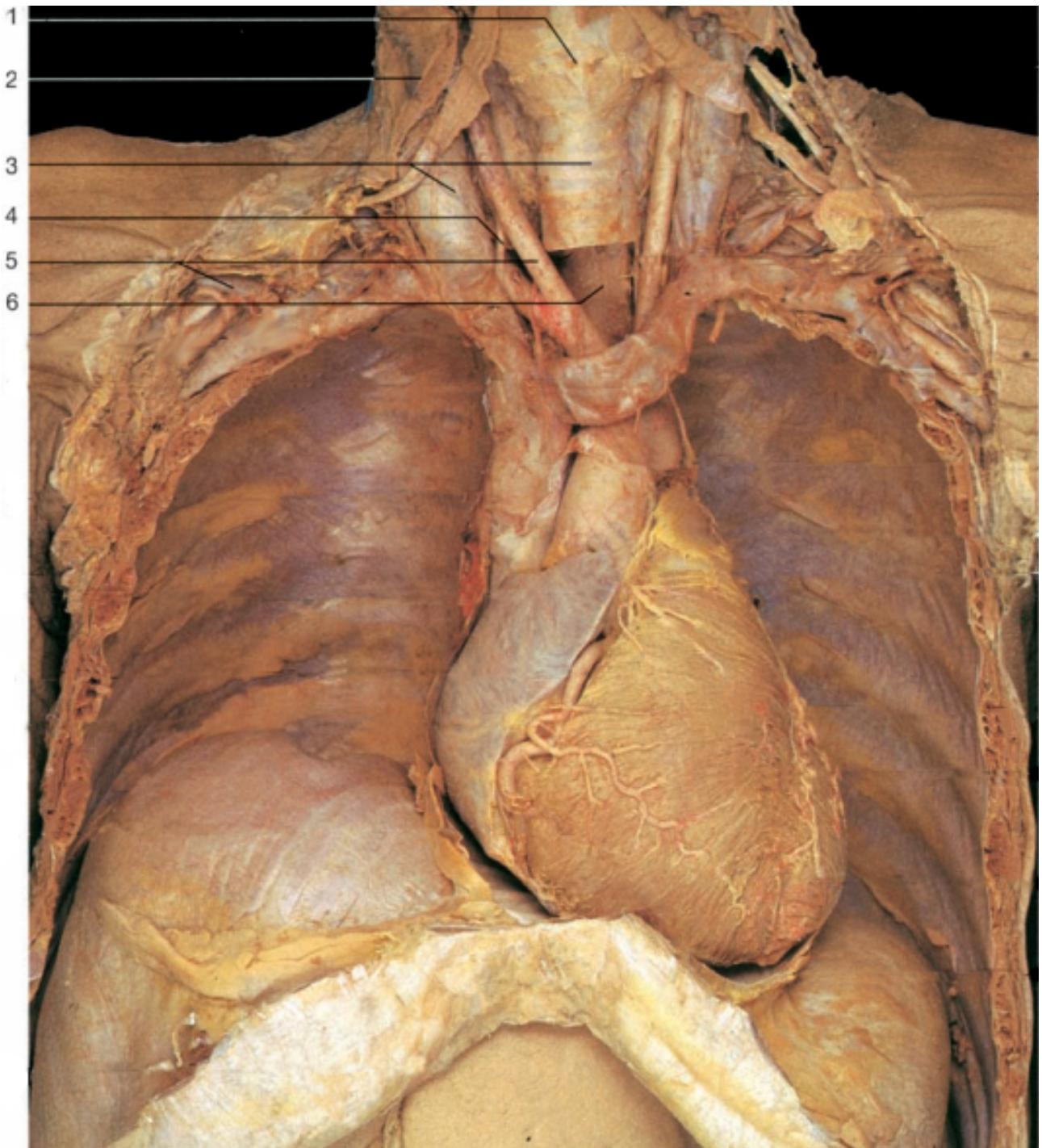


Figura 3: Corazón y vasos relacionados in situ (aspecto anterior). Se han eliminado la pared torácica anterior, el pericardio y el epicardio, se ha dividido la tráquea [45]

1. Laringe (cartílago tiroideo)
2. Músculo esternocleidomastoideo (dividido)
3. Tráquea (dividida) y vena yugular interna derecha

4. Nervio vago
5. Derecha arteria carótida común y vena cefálica
6. Esófago

.3. Esófago

El esófago es un canal muscular de paredes finas, recubierto en su interior por membranas mucosas, que conecta la garganta con el estómago. Los alimentos y líquidos son propulsados a través del esófago no solo por la gravedad sino también por ondas de contracciones musculares rítmicas, lo que se denomina peristaltismo. En ambos extremos del esófago existen dos músculos en forma de anillo (esfínteres esofágicos superior e inferior), que se abren y cierran. Normalmente, los esfínteres esofágicos impiden que el contenido del estómago vuelva a pasar al esófago o a la garganta. [43]

El esófago forma parte de su tubo digestivo. Es el “conducto alimentario” que conecta su garganta con su estómago. Los alimentos y los líquidos no solo descienden por el esófago a causa de la gravedad. Su esófago está revestido de músculos que empujan los alimentos y los líquidos hacia abajo.

Otros músculos rodean los extremos superior e inferior de su esófago como si fueran anillos. Estos músculos, también llamados esfínteres, cierran el esófago para que el contenido de su estómago no pueda regresar al esófago o a la garganta. [46]

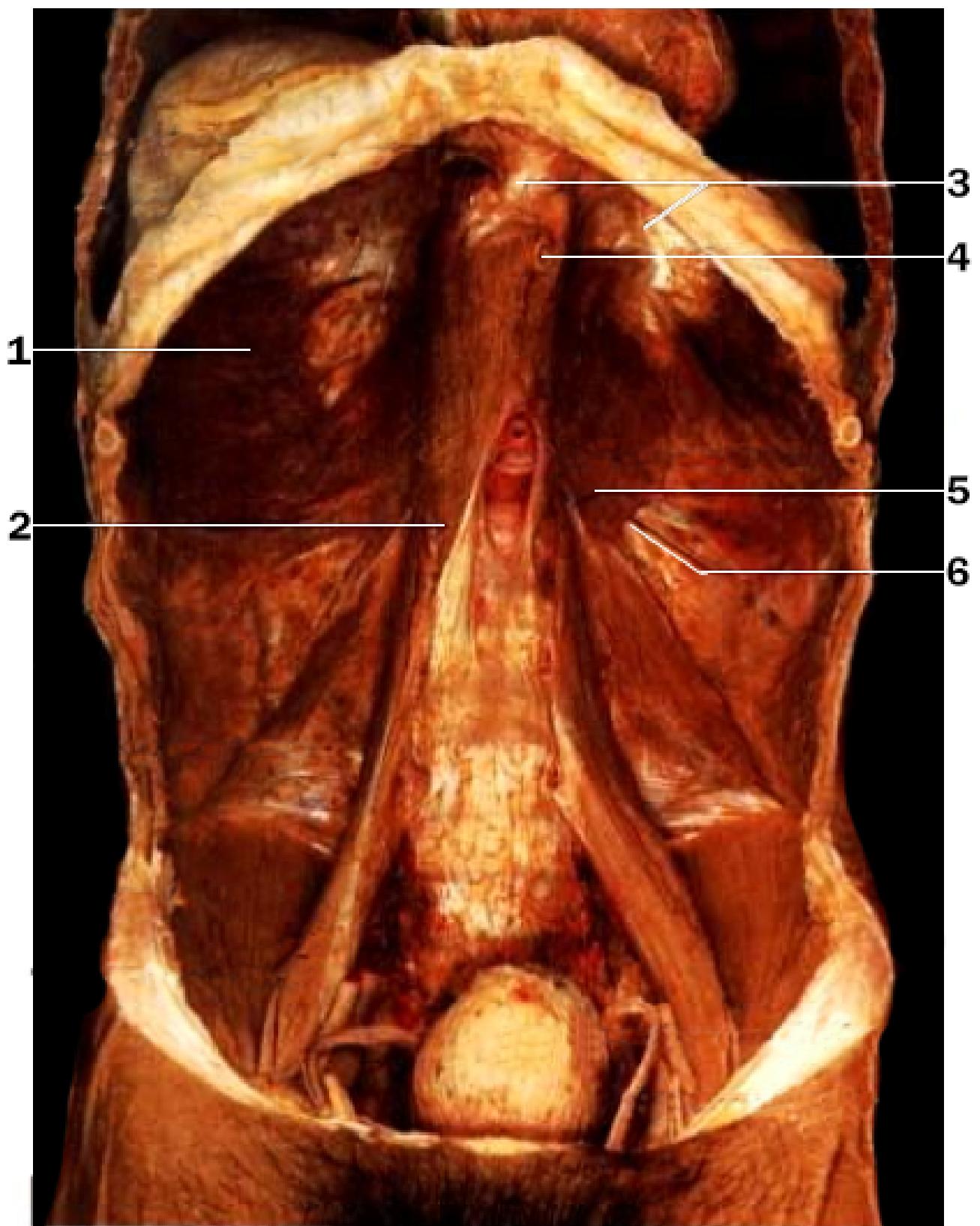


Figura 4: Diafragma y pared abdominal (vista anterior) [47]

1. Diafragma porción costal
2. Arco costal
3. Diafragma centro frénico
4. Esófago
5. Diafragma arco del psoas
6. Diafragma cuadrado lumbar

.4. Estómago

El estómago es un órgano muscular grande, hueco y con forma de alubia, en el que se distinguen tres regiones o zonas:

- Cardias
- Cuerpo (fondo)
- Antro pilórico

Los alimentos y los líquidos llegan al estómago desde el esófago pasando a través del esfínter esofágico inferior.

La parte superior del estómago sirve como área de almacenamiento para los alimentos. Aquí, el cardias y el cuerpo gástrico (fondo) se relajan para acomodar el alimento que entra en el estómago. A continuación el antro pilórico (la parte inferior del estómago) se contrae rítmicamente, mezclando el alimento con ácido y enzimas (jugos gástricos) y triturando en pequeños fragmentos para facilitar su digestión. Las células que recubren la superficie gástrica secretan tres sustancias importantes: moco, ácido clorhídrico y el precursor de la pepsina (una enzima que fracciona las proteínas). El moco recubre las células de la superficie gástrica para protegerlas de lesiones causadas por el ácido y las enzimas. El ácido clorhídrico proporciona un ambiente sumamente ácido, necesario para que la pepsina descomponga las proteínas. La elevada acidez del estómago también actúa como una barrera contra las infecciones, pues elimina la mayor parte de las bacterias. La secreción ácida es estimulada por impulsos nerviosos que llegan al estómago, por la gastrina (una hormona que secreta el estómago) y por la histamina (otra sustancia liberada en el estómago). La pepsina es la única enzima que digiere el colágeno, una proteína que es, a su vez, parte importante de la carne. [48]

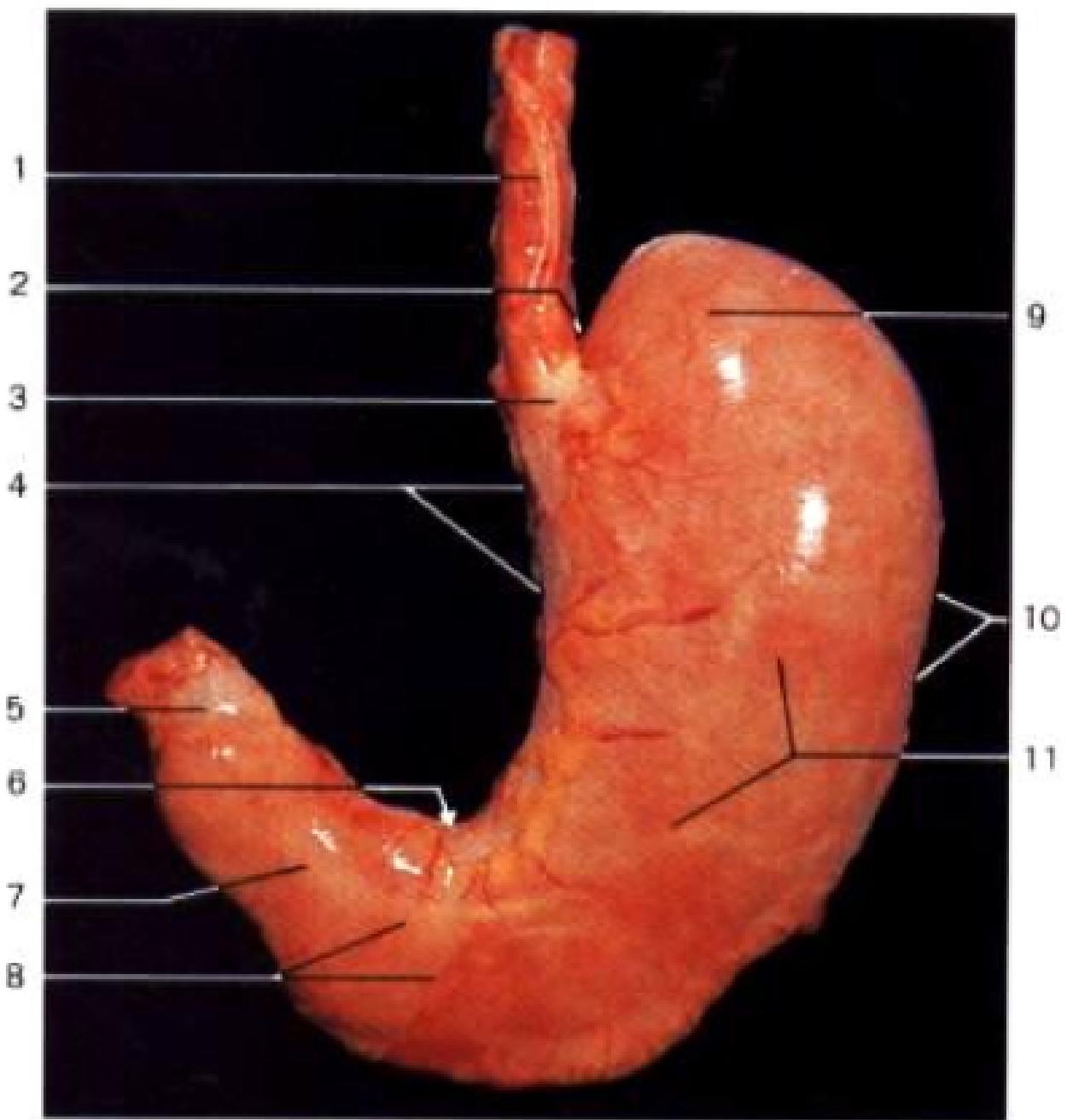


Figura 5: Vista anterior del estómago y sus relaciones [49]

1. Esófago
2. Escotadura cardiaca
3. Porción cardiaca del estómago
4. Curvatura menor del estómago
5. Esfínter pilórico

6. Escotadura angular
7. Antro pilórico
8. Porción pilórica del estómago
9. Fondo del estómago
10. Curvatura mayor del estómago
11. Cuerpo del estómago

.5. Intestino delgado

El duodeno es el primer segmento del intestino delgado, y el estómago vierte el alimento en su interior. El alimento entra en el duodeno a través del esfínter pilórico en cantidades que el intestino delgado pueda digerir. Cuando se llena, el duodeno envía una señal al estómago para detener la evacuación.

El duodeno recibe enzimas pancreáticas del páncreas, y bilis del hígado y de la vesícula biliar. Estos fluidos, que llegan al duodeno a través de una abertura denominada esfínter de Oddi, contribuyen de modo importante en la digestión y la absorción. Las ondas de contracciones musculares rítmicas (denominadas peristaltismo) también contribuyen a la digestión y a la absorción removiendo los alimentos y mezclandolos con las secreciones.

Los centímetros iniciales del revestimiento duodenal son lisos, pero el resto presenta pliegues, pequeños salientes (vellosidades) e incluso salientes aún más pequeños (microvellosidades). Estas vellosidades y microvellosidades incrementan el área de la superficie de revestimiento del duodeno, permitiendo así una mayor absorción de nutrientes.

El resto del intestino delgado está formado por el yeyuno y el íleon, que están situados por debajo del duodeno. Estas partes del intestino delgado son en gran medida responsables de la absorción de grasas y otros nutrientes. Los movimientos de batido facilitan la absorción. La absorción también se incrementa debido a la extensa superficie formada por los pliegues, vellosidades y microvellosidades. La pared intestinal está muy irrigada por vasos sanguíneos que conducen los nutrientes absorbidos hacia el hígado a través de la vena porta. La pared intestinal libera moco que lubrica el contenido intestinal y agua que ayuda a disolver los fragmentos digeridos. También se liberan pequeñas cantidades de enzimas que digieren las proteínas, los azúcares y las grasas.

La consistencia del contenido intestinal cambia gradualmente a medida que este avanza por el intestino delgado. En el duodeno, el alimento es diluido con enzimas pancreáticas y bilis, que disminuyen la acidez estomacal. El contenido continúa su paso por el intestino delgado, haciéndose más líquido a medida que se mezcla con agua, moco, bilis y enzimas pancreáticas. Finalmente, el intestino delgado absorbe la mayor parte de los nutrientes y casi todo el líquido (a excepción de aproximadamente un litro) antes de pasarlo al intestino grueso. [50]

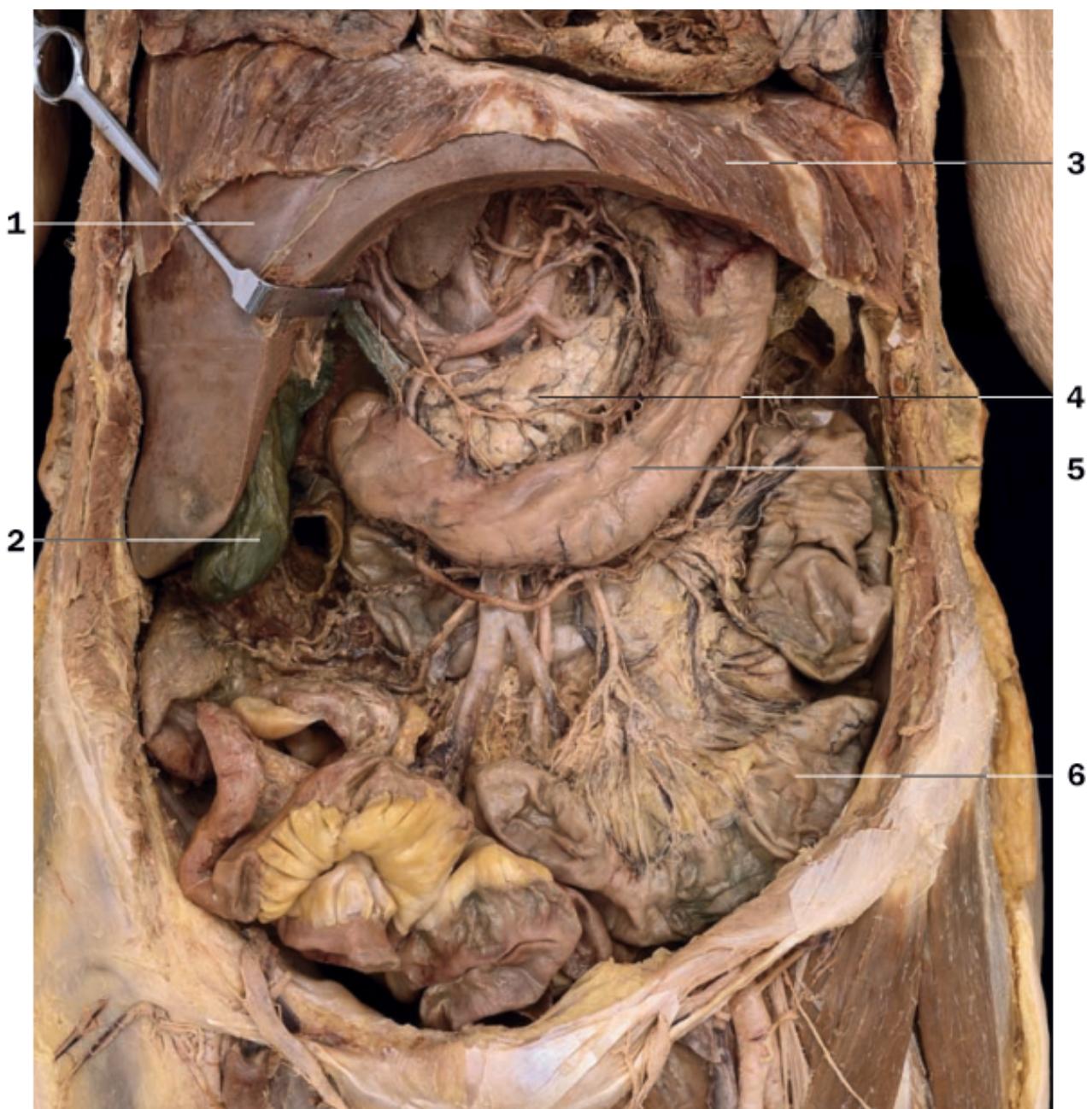


Figura 6: Vasos de los órganos abdominales superiores y del intestino delgado (aspecto anterior).
Disección de la vena mesentérica superior. El hígado está disecado y elevado. [51]

- Hígado
- Vesícula biliar
- Diafragma
- Páncreas
- Estómago
- Intestino Delgado

.6. Hígado

El hígado, con forma de cuña, es el órgano más grande y, en algunos aspectos, el más complejo del cuerpo humano. Sirve como la fábrica de productos químicos del organismo, desempeñando muchas funciones vitales que incluyen desde la regulación de compuestos químicos en el organismo hasta la producción de sustancias que hacen que la sangre se coagule (factores de coagulación) durante una hemorragia.

El hígado produce casi la mitad del colesterol del organismo. El resto proviene de los alimentos. La mayor parte del colesterol fabricado en el hígado se utiliza para la producción de bilis, un líquido espeso, viscoso y de color amarillo verdoso que ayuda a la digestión. El colesterol también es necesario para sintetizar ciertas hormonas, incluidos los estrógenos, la testosterona y las hormonas suprarrenales, y es un componente esencial de todas las membranas celulares. El hígado elabora otras sustancias, entre ellas las proteínas que el organismo necesita para llevar a cabo sus funciones. Por ejemplo, los factores de la coagulación son proteínas necesarias para detener los sangrados. La albúmina es una proteína necesaria para mantener la presión de los líquidos en el torrente sanguíneo.

Los azúcares son almacenados en el hígado en forma de glucógeno y posteriormente descompuestos y liberados al torrente sanguíneo en forma de glucosa a medida que el organismo la necesita, como ocurre, por ejemplo, durante el sueño, cuando una persona pasa muchas horas sin comer y los niveles de azúcar en sangre se vuelven demasiado bajos.

El hígado también descompone sustancias nocivas o tóxicas (toxinas) absorbidas desde el intestino o producidas en otras partes del organismo, y las excreta luego como subproductos inocuos a la bilis o la sangre. Los subproductos excretados a la bilis pasan al intestino y son eliminados del organismo en las heces. Los subproductos excretados a la sangre son filtrados por los riñones y posteriormente eliminados del organismo en la orina. El hígado también altera químicamente (metaboliza) los fármacos, con frecuencia activandolos o haciendo más fácil su excreción.

El hígado recibe sangre directamente de los intestinos y también del corazón, como lo hacen todos los demás órganos. La sangre de los intestinos contiene casi todo lo absorbido por estos, incluyendo nutrientes, fármacos y a veces toxinas. Esta sangre fluye a través de diminutos capilares de la pared intestinal hacia el interior de la vena porta, que desemboca en el hígado. Despues la sangre fluye a través de una red de minúsculos canales dentro del hígado, donde se procesan los nutrientes digeridos y las toxinas.

La arteria hepática lleva sangre al hígado desde el corazón. Esta sangre transporta oxígeno hacia los tejidos hepáticos, así como colesterol y otras sustancias para ser transformadas. La sangre procedente del intestino y la que proviene del corazón se mezclan en los tejidos hepáticos y retornan al corazón por la vena hepática.[52]

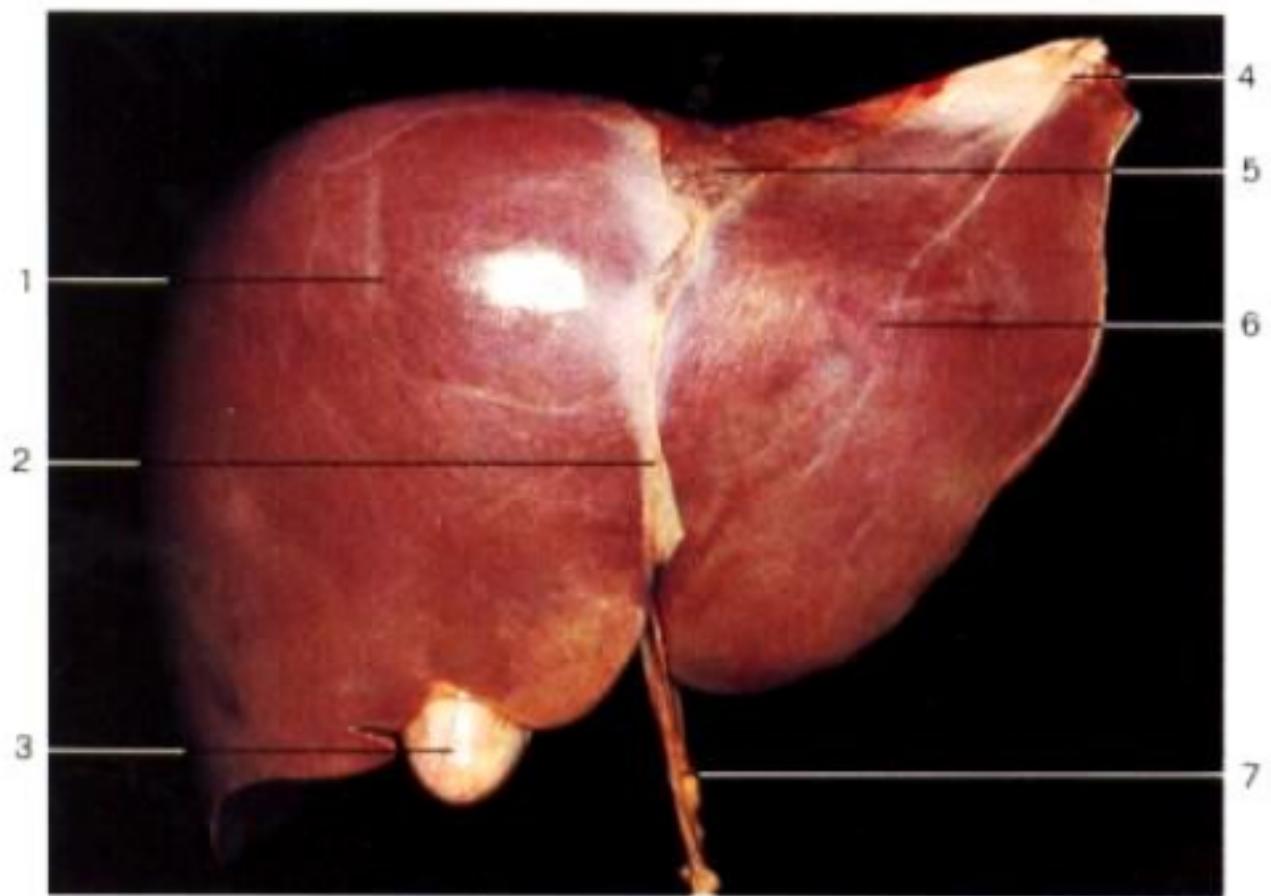


Figura 7: Vista anterior del hígado[53]

1. Lóbulo derecho
2. Ligamento falciforme
3. Vesícula biliar
4. Ligamento triangular izquierdo
5. Gran zona desprovista de peritoneo
6. Lóbulo izquierdo
7. Ligamento redondo

.7. Páncreas y vesícula biliar

El páncreas es un órgano que contiene dos tipos de tejido glandular:

- Acinos pancreáticos
- Islotes de Langerhans

Los ácidos producen enzimas digestivas. Los islotes producen hormonas. El páncreas secreta enzimas digestivas al duodeno y hormonas al torrente sanguíneo.

Las enzimas digestivas (como la amilasa, la lipasa y la tripsina) son liberadas por las células de los acinos y circulan por el interior del conducto pancreático. El conducto pancreático se une al colédoco en el esfínter de Oddi, por el cual ambos desembocan en el duodeno. Las enzimas son secretadas normalmente en forma inactiva; solo se activan cuando alcanzan el tubo digestivo. La amilasa digiere los carbohidratos, la lipasa digiere las grasas y la tripsina digiere las proteínas. El páncreas también secreta grandes cantidades de bicarbonato sódico, que protege el duodeno porque ejerce una acción neutralizadora sobre el ácido procedente del estómago.

Las tres hormonas producidas por el páncreas son:

1. Insulina
2. Glucagón
3. Somatostatina

La insulina disminuye el nivel de azúcar (glucosa) en sangre, ya que transporta el azúcar hacia el interior de las células. El glucagón aumenta el nivel de azúcar (glucosa) en sangre mediante la estimulación del hígado para que libere sus reservas. La somatostatina evita la liberación de las otras dos hormonas. [54]

La vesícula biliar es un pequeño saco muscular de almacenamiento, en forma de pera, que contiene la bilis y que está interconectado con el hígado mediante unos conductos llamados vías biliares.

La bilis es un líquido espeso y viscoso, de color amarillo verdoso. Se compone de sales biliares, electrolitos (partículas cargadas disueltas, como el sodio y el bicarbonato), pigmentos biliares, colesterol y otras grasas (lípidos). La bilis tiene dos funciones principales:

- Ayudar a la digestión
- Eliminar del organismo ciertos productos de desecho (principalmente hemoglobina y exceso de colesterol).

Las sales biliares contribuyen a la digestión haciendo que el colesterol, las grasas y las vitaminas liposolubles sean más fáciles de absorber por el intestino.

La bilirrubina es el principal pigmento de la bilis. La bilirrubina es un producto de desecho que se forma a partir de la hemoglobina (la proteína que transporta oxígeno en la sangre) y que es excretado en la bilis. La hemoglobina se libera cuando se destruyen los glóbulos rojos (eritrocitos) viejos o dañados. La bilis sale del hígado por los conductos hepáticos derecho e izquierdo, los cuales se unen para formar el conducto hepático común. Posteriormente, este conducto se une a otro que está conectado con la vesícula biliar, denominado conducto cístico, para formar el colédoco. Este desemboca en el intestino delgado a través del esfínter de Oddi (un músculo en forma de anillo), situado unos centímetros por debajo del estómago.

Aproximadamente la mitad de la bilis secretada entre las comidas fluye directamente a través del colédoco al intestino delgado. La bilis restante es desviada a través del conducto cístico a la vesícula biliar, donde es almacenada. En la vesícula biliar, hasta el 90 % del agua de la bilis se absorbe hacia el torrente sanguíneo, por lo que la bilis restante se vuelve muy concentrada.

Cuando entran alimentos en el intestino delgado, una serie de señales hormonales y nerviosas desencadenan la contracción de la vesícula biliar, y la relajación y la apertura del esfínter de Oddi. La bilis fluye entonces desde la vesícula biliar hasta el intestino delgado, donde se mezcla con el contenido

alimenticio y lleva a cabo sus funciones digestiva[55]

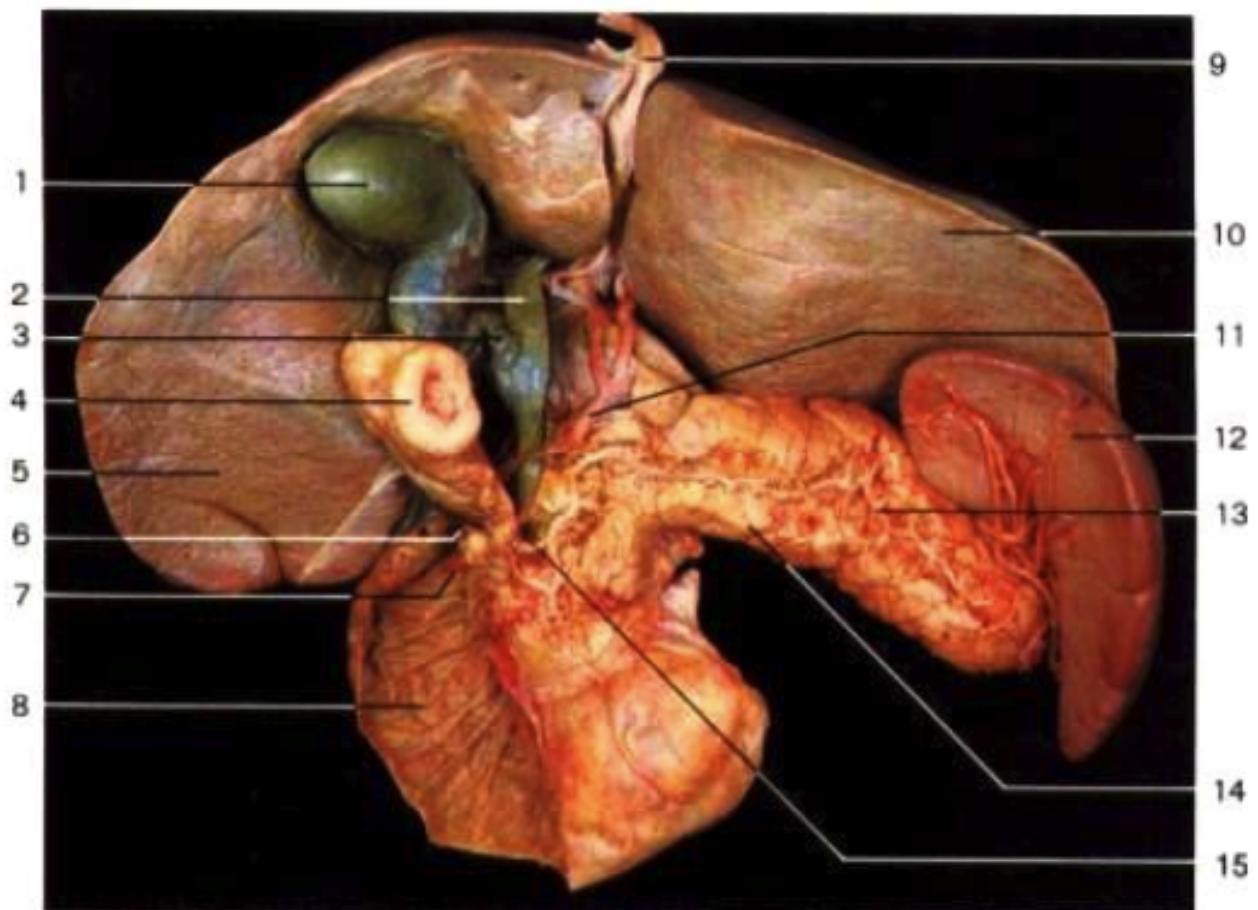


Figura 8: Páncreas y duodeno, bazo, vesícula biliar e hígado (vista anterior). [56]

1. Vesícula biliar
2. Conducto hepático común
3. Conducto cístico
4. Píloro (seccionado)
5. Lóbulo derecho del hígado
6. Carúncula duodenal menor (marcador)
7. Carúncula duodenal mayor (marcador)
8. Duodeno
9. Ligamento redondo del hígado
10. Lóbulo izquierdo del hígado

11. Arteria hepática
12. Bazo
13. Conducto pancreático de Winsung
14. Páncreas
15. Conducto pancreático accesorio de Santorini



Figura 9: Páncreas con parte descendente del duodeno (aspecto posterior). El duodeno se abrió para mostrar las papillas duodenales. El conducto pancreático ha sido disecado, el conducto biliar común ha sido dividido

.8. Intestino grueso y ano

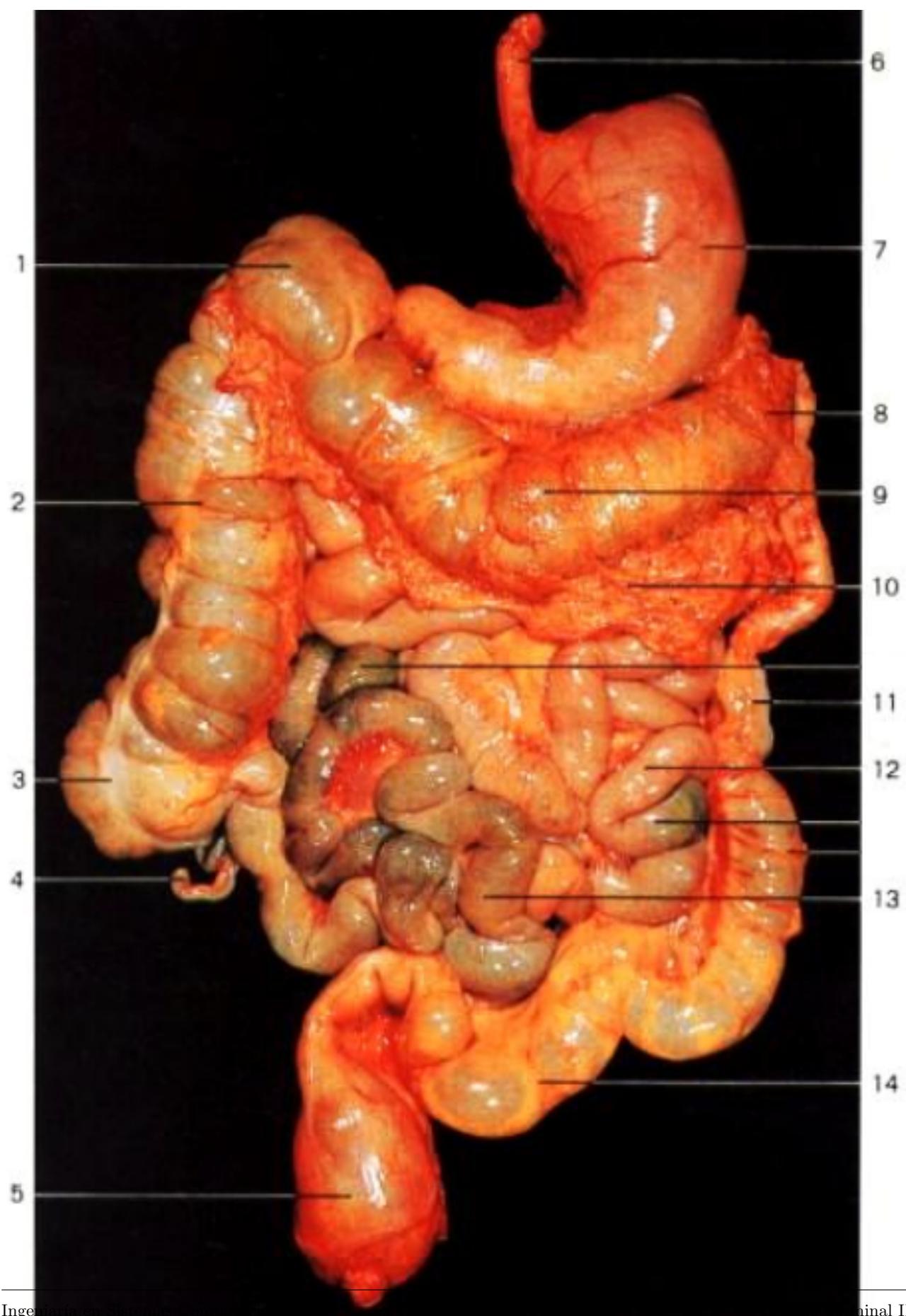
Las partes del intestino grueso son:

- Ciego y colon ascendente (derecho)
 - Colon transverso
 - Colon descendente (izquierdo)
 - Colon sigmoide (que está conectado al recto)

El ciego, que se encuentra al principio del colon ascendente, es el punto donde el intestino delgado se une con el intestino grueso. Desde el ciego se proyecta el apéndice, una estructura tubular en forma de dedo que no cumple ninguna función conocida. El intestino grueso secreta moco y es responsable

en gran medida de la absorción del agua de las heces.

El contenido intestinal es líquido cuando llega al intestino grueso, pero normalmente se solidifica durante el tiempo que tarda en alcanzar el recto formando las heces. Las numerosas bacterias que habitan en el intestino grueso pueden digerir aún más algunas materias, produciendo gas. Las bacterias del intestino grueso también producen algunas sustancias importantes, como la vitamina K, que desempeña un papel relevante en el proceso de coagulación de la sangre. Estas bacterias son necesarias para una adecuada función intestinal, y algunas enfermedades y antibióticos pueden alterar el equilibrio entre los diferentes tipos de bacterias que habitan en el intestino grueso. [57]



1. Ángulo hepático del colon
2. Colon ascendente
3. Ciego
4. Apendice veriforme
5. Recto
6. Esófago (seccionado)
7. Estómago
8. Ángulo esplénico del colon (izquierdo)
9. Colon transverso
10. Epiplón mayor
11. Yeyuno
12. Íleon
13. Colon sigmoide
14. Colon sigmoide

El ano es la abertura que existe al final del tubo digestivo, por la cual las heces abandonan el organismo. El ano está formado, en parte, por las capas superficiales del cuerpo, incluida la piel, y, en parte, por el intestino. Está recubierto por una prolongación de la piel externa. Un anillo muscular, denominado esfínter anal, mantiene el ano cerrado hasta que la persona hace una deposición[59].