



**SISTEMA DE REALIDAD VIRTUAL PARA EL ENTRENAMIENTO
INTERACTIVO DE DOTACIÓN E INFRAESTRUCTURA DEL SERVICIO UCI
ADULTOS PARA EL PERSONAL EN INGENIERÍA CLÍNICA**

Santiago Realpe Molano

David Guillermo Velásquez Ruano

20561614477

20561618070

Universidad Antonio Nariño

Programa Ingeniería Biomédica

Facultad de Ingeniería Mecánica, Electrónica y Biomédica

Popayán, Colombia

2021

**SISTEMA DE REALIDAD VIRTUAL PARA EL ENTRENAMIENTO
INTERACTIVO DE DOTACIÓN E INFRAESTRUCTURA DEL SERVICIO UCI
ADULTOS PARA EL PERSONAL EN INGENIERÍA CLÍNICA**

Santiago Realpe Molano

David Guillermo Velásquez Ruano

Proyecto de grado presentado como requisito parcial para optar al título de:
Ingeniero Biomédico

Director:

PhD. Julián Antonio Villamarín Muñoz

Línea de Investigación:

Análisis de información Biomédica

Universidad Antonio Nariño

Programa Ingeniería Mecánica

Facultad de Ingeniería Mecánica, Electrónica y Biomédica

Popayán, Colombia

Año 2021

NOTA DE ACEPTACIÓN

El trabajo de grado titulado

_____.

Cumple con los requisitos para optar

Al título de _____.

Firma del Tutor

Firma Jurado

Firma Jurado

Tabla de contenido

Resumen.....	14
Abstract.....	15
1 Introducción.....	16
○ 1.1. Problema.....	18
2. Antecedentes tecnológicos.....	19
○ 2.1 Patentes.....	19
○ 2.2 Artículos científicos.....	23
○ 2.3. Búsquedas abiertas.....	27
3. Objetivos.....	30
○ 3.1 Objetivo general.....	30
○ 3.2 Objetivos específicos.....	30
4. Justificación.....	31
5. Marco teórico.....	34
○ 5.1. Realidad virtual.....	34
○ 5.2 Ambientes simulados para el entrenamiento de personal en salud.....	36
○ 5.3. Unity.....	37
■ 5.3.1. Interfaz de usuario de Unity.....	38
○ 5.4. Blender.....	39
■ 5.4.1 Renderización con Blender.....	40
○ 5.5. Ingeniería clínica.....	41
■ 5.5.1. Ciclo de la tecnología biomédica.....	42
○ 5.7. Resolución 3100 del 2019.....	42
■ 5.7.1. Infraestructura hospitalaria.....	43
■ 5.7.2. Dotación.....	43
■ 5.7.3. Condiciones de habilitación que deben cumplir los prestadores del servicio de salud al habilitar un servicio hospitalario especializado.....	43
○ 5.8. Servicio de salud - Unidad de Cuidados Intensivos.....	44
6. Diseño metodológico.....	44

○ 6.1. Materiales del desarrollo	44
○ 6.2. Marco de referencia para el desarrollo del trabajo de grado	45
○ 6.3. Implementación del sistema	47
○ 6.4. Caracterización de la UCI Adultos	47
○ 6.5. Diseño 3D de la infraestructura de UCI Adultos.	48
○ 6.6. Diseño 3D de la dotación médica de la UCI Adultos.	51
○ 6.7. Obtención de planos.....	56
○ 6.8. Desarrollo del controlador en primera persona.....	57
○ 6.9. Interactividad	57
7. Resultados	63
○ 7.1. Trabajos futuros.....	85
8. Conclusiones	87
9. Anexos	90
○ 9.1. Patente.....	90
○ 9.2. Manual de usuario	91
○ 9.3 Descarga e instalación del software	92
○ 9.4 Manual para uso Blender	94
○ 9.5 Instalación del software Oculus.....	95
○ 9.6 Vigilancia tecnológica	96
10. Referencias Bibliográficas	99

Lista de figuras

Figura 1: Sistema de navegación quirúrgica.....	20
Figura 2: Casco de RV implementado.	21
Figura 3: Diagrama de las acciones del dispositivo biomédico.....	22
Figura 4: Visualización de la mano en el ambiente virtual.....	24
Figura 5: Ambiente creado en realidad virtual.....	25
Figura 6: Pantalla de la simulación.....	26
Figura 7: Captura de pantalla mostrando posterior-anterior (Pensilvania) configuración de rayos X de la mano realizada por un estudiante de radiografía de primer año.....	27
Figura 8: Aplicación con su contenido.....	28
Figura 9: Tipo de simulador de realidad virtual para entrenamiento.....	29
Figura 10: El triángulo de la tecnología de la realidad virtual.....	34
Figura 11: Simulador de ambiente médico para entrenamiento en personal de salud.....	37
Figura 12: Interfaz de usuario en Unity.....	38
Figura 13: Comparación de objetos sin renderizar y renderizados.....	41
Figura 14: Ciclo de vida de la tecnología médica en Colombia.....	42
Figura 15: Etapas CDIO implementadas en el proyecto.	45
Figura 16: Registro fotográfico dotación médica-Desfibrilador NIHON KOHDEN TEC56-31.....	48
Figura 17: Herramienta ProBuilder.....	49
Figura 18: Propiedades de los objetos creados.....	49
Figura 19: jerarquía, ventana donde se encuentran los objetos creados.....	50
Figura 20: Plano inicial de la infraestructura.....	51
Figura 21: Entorno del modelado de Blender.	52
Figura 22: Barra de objetos y jerarquía.....	52
Figura 23: Ventana de propiedades de objetos.....	53
Figura 24: Construcción de curvas en Blender.....	54

Figura 25: Modelado en caja.....	54
Figura 26: Modelo individual de cada componente.....	55
Figura 27: Unión de todos los objetos creados.....	55
Figura 28: Plano en 2D del servicio UCI Adultos.....	56
Figura 29: Visión del personaje en primera persona.....	57
Figura 30: Acción del usuario al abrir una puerta.....	58
Figura 31: Interacción del usuario con un dispositivo médico.....	59
Figura 32: Interfaz de los equipos médicos.....	60
Figura 33: Cubos animados con información de la infraestructura.....	61
Figura 34: Audio Source (Fuente de audio)....	62
Figura 35: Interacción del usuario al acercarse a un audio.....	62
Figura 36: ...Plano 3D del servicio UCI - Plano 2D del servicio UCI.....	64
Figura 37:...Comparación de equipo modelado en 3D y equipos reales, ventilador mecánico marca carefusion modelo vela comprehensive.....	65
Figura 38: Comparación de equipo modelado en 3D y equipos reales, ventilador mecánico marca Puritan modelo Bennett 840.....	66
Figura 39: Comparación de equipo modelado en 3D y equipos reales, ventilador mecánico marca Neumovent modelo Ts Tecme Graphne.....	66
Figura 40: ...Comparación de equipo modelado en 3D y equipo real, ventilador mecánico marca Mindray modelo sv300.....	67
Figura 41: Comparación de equipo modelado en 3D y equipo real, regulador de vacío marca Amvex C2A.....	68
Figura 42: Comparación de equipo modelado en 3D y equipo real, monitor de signos vitales Mindray Umec10.....	68
Figura 43: Comparación de equipo modelado en 3D y equipo real, unidad de calentamiento, marca Warm touch nellcor WT600.....	69
Figura 44: Diseño en 3D alarma digital de gases en el área UCI.....	70
Figura 45: Implementación de red de gases por cubículo en 3D.....	70
Figura 46: Plano 2D red de gases del HSLV - Red de gases en Unity3D.....	71
Figura 47: Plano 2D planta de iluminación, paneles led, switches sencillos, sistema vital, sistema normal y sistema crítico del HSLV.....	71

Figura 48: Plano 3D planta de iluminación, paneles led, switches sencillos, sistema vital, sistema normal y sistema crítico del HSLV.....	72
Figura 49: Plano 2D planta de tomas e iluminación de emergencia HSLV.....	72
Figura 50: Plano 3D planta de tomas e iluminación de emergencia HSLV.....	72
Figura 51: Tableros de electricidad de la UCI real - modelado en 3D tableros de electricidad de la UCI.....	73
Figura 52: Cubículo del HSLV con su dotación.....	72
Figura 53: Cubículo en el ambiente virtual con su dotación.....	72
Figura 54: Cuatro escenas diferentes dentro del entorno virtual.....	75
Figura 55: Usuario navegando en el sistema creado mediante los oculus rift.....	75
Figura 56: Diagrama general del sistema.	76
Figura 57: Ambiente VR a través del Oculus Rift.	76
Figura 58: Ingeniería clínica usando el sistema a través de un ordenador.	79
Figura 59: Resultados de ingenieros biomédicos que no probaron el sistema implementado.....	80
Figura 60: Resultados de ingenieros biomédicos que usaron el sistema implementado....	81
Figura 61: Comparación de los dos estudios realizados.....	82
Figura 62: Imagen de referencia de la pregunta número nueve.	84
Figura 63: Comparación de porcentajes de preguntas acertadas y erradas.....	85
Figura 64: Reporte detallado de solicitud de patente.....	91
Figura 65: Manual de usuario.....	92
Figura 66: Interfaz de descarga de la página de unity.....	92
Figura 67: Versiones de descarga de Unity.....	93
Figura 68: Instalación finalizada en el equipo ejecutado.....	93
Figura 69: Interfaz de descarga de la página de Blender.....	94
Figura 70: Instalación en el equipo ejecutado.....	95

Figura 71: Plataforma de Oculus Rift.....95

Lista de Tablas

Tabla 1: Universidades de Colombia que ofertan ingeniería biomédica.

Tabla 2: Definición de los elementos.

Tabla 3: Componentes de Unity.

Tabla 4: Lista de modificadores.

Tabla 5: Lista de materiales para el desarrollo del proyecto.

Tabla 6: Metodología CDIO.

Tabla 7: Preguntas del cuestionario y valoración de los profesionales en ingeniería clínica.

Tabla 8: Preguntas del formulario realizadas y respuestas de los usuarios que probaron el sistema.

Abreviaturas:

Abreviatura	Término
RV	Realidad virtual.
UCI	Unidad de cuidados intensivos.
HSLV	Hospital Susana López de Valencia E.S.E.
COVID-19	Coronavirus.
3D	Tridimensional.
IC	Ingeniería clínica.
U	Universidad.
IU	Institución Universitaria.
IT	Institución tecnológica.
RC	Registro Calificado.
AC	Acreditación de Alta Calidad.
TI	Tecnología de la información.
KB	Kilobyte

Resumen

A falta de entrenamientos a ingenieros biomédicos con respecto a la normativa se desarrolló este proyecto, el cual se enmarca en el desarrollo de un sistema de realidad virtual para el entrenamiento de las habilidades ingenieriles del ingeniero biomédico en un servicio hospitalario. Se tomó para efectos de la investigación un servicio de la UCI Adultos de un hospital acreditado, que cuenta con el cumplimiento de los estándares dados por la resolución 3100 del 2019 en el componente de infraestructura y dotación, los cuales hacen parte del sistema único de habilitación. La aplicación cuenta con los equipos médicos requeridos y distribuidos en una infraestructura con sus respectivas características físicas, sus funciones e implementaciones. El usuario podrá interactuar y ser capacitado en dichos estándares. El desarrollo tecnológico permite la inmersión del usuario en un ambiente de realidad virtual creado a partir de los planos oficiales de una unidad de cuidado intensivo, lo anterior garantiza la veracidad del ambiente y por ende mejora la experiencia, el aprendizaje y la interactividad entre el usuario y el programa.

Palabras clave: Ambiente hospitalario, equipos biomédicos, entorno virtual, entrenamiento virtual, infraestructura hospitalaria, realidad virtual, UCI, VR.

Abstract

In the absence of training for biomedical engineers regarding regulations, this project was developed, which is part of the development of a virtual reality system for training the engineering skills of the biomedical engineers in a hospital service. For investigation purposes, an accredited hospital with an adults ICU was selected as a model; this entity has compliance with the standards given by resolution 3100 of 2019 as to infrastructure and endowment component, which are part of the unique habilitation system. The application has the medical equipment required and is distributed in an infrastructure with their respective physical characteristics, their functions and implementations. The user will be able to interact and be trained in these standards. The technological development allows the immersion of the user in a virtual reality environment created from the official plans of an intensive care unit, the above guarantees the veracity of the environment and therefore improves the experience, learning and interactivity between the user and the program.

Key words: Hospital environment, biomedical equipment, virtual training, virtual environment, hospital infrastructure, ICU, VR.

1 Introducción

La realidad virtual (RV) se integra de forma gradual pero constante entre los profesionales de la educación como una estrategia que posibilita el cambio en la forma en la que se enseña y se aprende, según Burkhardt (2018), existen dos principales usos de la realidad virtual para la educación: por un lado se tiene los entornos virtuales destinados a los estudiantes los cuales ofrecen una interacción didáctica individual y por otro lado están los entornos para los formadores los cuales se usan para impartir conocimientos, la realidad virtual se basa en brindar a los usuarios una experiencia emocional aportando así un gran valor para la conformación de una nueva estrategia educativa, en especial en temas específicos como leyes y normas, un claro ejemplo es que actualmente en Colombia existe un marco normativo para dar cumplimiento al sistema único de habilitación, este marco basado actualmente en la resolución 3100 del 2019 es de uso obligatorio debido a que enmarca todas las condiciones mínimas para la prestación y habilitación de un sistema de salud, siguiendo esta idea se puede aprender y enseñar este marco normativo de una forma completa usando la realidad virtual. Es por esto que el desarrollo tecnológico de un programa en realidad virtual diseñado para la ingeniería clínica ofrece una gran variedad de ventajas, entre ellas la seguridad del usuario, la facilidad para brindar inducciones a personal asistencial y el ahorro en costos y tiempo. De igual manera, al ser un programa inmersivo potenciará los niveles de recordación en los usuarios ya que generará emociones que se asocien directamente a los conocimientos adquiridos dentro de dicho ambiente, sumado a esto este proyecto se consolida como una base en cuanto a tecnologías de realidad virtual para la educación en Colombia, este proyecto se enfoca en por medio de un ambiente de

realidad virtual interactivo, suplir las necesidades de aprendizaje con respecto a la asociación de normativa, contribuyendo a complementar la formación de los ingenieros clínicos, de igual manera que facilita el entrenamiento al personal de salud IPS.

El desarrollo del trabajo consta de diez secciones las cuales se dividen de la siguiente manera.

En la *sección 1* encontraremos la introducción donde se muestran los temas y conceptos principales de la tecnología de realidad virtual, junto a este se plantea un problema que el proyecto planteado resuelve, en la *sección 2* se encuentran los antecedentes tecnológicos donde se encuentra una vigilancia tecnológica dividida en una búsqueda de patente, artículos científicos y búsqueda abierta de tecnologías relacionadas con herramientas de realidad virtual para educación y entrenamiento, en la *sección 3* se tienen los objetivos que este proyecto se plante, en la *sección 4* se presenta la justificación donde se detallada las diferentes razones que validan la realización del proyecto analizando problemáticas y soluciones a nivel tecnológico, en la *sección 5 y 6* se presenta el marco teórico y diseño metodológico donde se exponen los materiales y métodos que se utilizaron para la realización de este proyecto, junto con las definiciones claras de los diferentes conceptos y técnicas usados, en la *sección 7* se tiene la parte de resultados donde se evidencia toda la información recolectada en el momento de aplicar este proyecto en escenarios reales, en la *sección 8* se exponen las conclusiones que se obtuvieron del sistema planteado finalmente en la *sección 9* tenemos los anexos donde se amplía la información sobre el proyecto planteado.

- **1.1. Problema**

Actualmente existe una gran problemática en el uso de nuevas herramientas virtuales para la educación en Colombia, ya que estas herramientas se ven opacadas por diversos factores, como señala Corporación Ruta N (2016), Colombia es un país con retos tecnológicos muy grandes en educación con realidad virtual por diversas causas, una de estas es el poco reconocimiento de la tecnología a pesar de que esta constituye uno de los avances más importantes en la actualidad, junto a esto la insuficiencia de contenido de ambientes virtuales para la educación, en el contexto de la enseñanza de la ingeniería clínica es notable la ausencia de herramientas tecnológicas en el apoyo y entrenamiento de los ingenieros que llevan a cabo procesos de gestión de tecnología biomédica, debido a esto, el ingeniero clínico queda con la opción de la educación tradicional, lastimosamente los escasos lugares de entrenamiento para personal de ingeniería clínica, así mismo la actual pandemia por COVID-19 ha generado grandes desafíos en la formación del ingeniero, es por esto que se evidencia una gran problemática en la educación del ingeniero clínico y la insuficiencia de herramientas tecnológicas en realidad virtual que fortalezcan los conocimientos y habilidades ingenieriles.

2. Antecedentes tecnológicos

En las últimas décadas, el desarrollo y progreso de la tecnología con respecto a realidad virtual ha dado un avance notable en cuanto al uso de ésta en diversas áreas, siendo una de la más notable la educación, esta tecnología hace unos años no pasaban de ser experimentos enfocados en videojuegos, con un ámbito de acción restringido, actualmente la realidad virtual avanza a grandes pasos y cada vez más son las empresas e instituciones que hacen de esta tecnología una herramienta más para la capacitación y la educación. En relación con la presente propuesta de investigación de desarrollo, se ha realizado un análisis de vigilancia tecnológica sobre patentes y artículos científicos, los cuales enriquecieron las bases de la investigación y permitieron la creación de una propuesta innovadora. A continuación, se presentan algunas de las invenciones, como patentes, artículos científicos y búsquedas abiertas que se alinearon con las necesidades planteadas en la justificación de este documento, las cuales posteriormente serán analizadas desde un enfoque biomédico.

○ 2.1 Patentes

- *Sistema de navegación quirúrgica mediante imágenes diagnósticas digitales visualizadas por realidad aumentada, ID: CO16148897*, La presente invención se enfoca en el área de biomedicina, más exactamente en la creación de dispositivos médicos, instrumentos o procedimientos para realizar exámenes médicos, con el fin de hacer diagnósticos durante un procedimiento, al igual, se refiere al tratamiento de datos digitales, los cuales pueden ser analizados por un equipo médico. La invención tiene relación con un sistema de realidad aumentada para la navegación del usuario, esta invención cuenta con diferentes dispositivos que cumplen funciones como la

proyección ocular translúcida y la exposición y presentación de diferentes imágenes digitales, esta invención cuenta con la aplicación de un soporte lógico de suspensión espacial de archivos, diferentes patrones físicos y un protocolo de adquisición de imágenes diagnósticas mediante equipos radiológicos comunes y aditamentos radiopacos adhesivos o medios de sujeción a la piel del paciente.

Analizando la anterior patente desde una perspectiva de estudiantes de biomédica, esto representa un gran avance en cuanto a las posibilidades de estudio y práctica. Lo relacionado con manejo, mantenimiento y revisión se vuelven parte clave dentro de las capacitaciones de personal biomédico, minimizando riesgos y acelerando la curva de aprendizaje al mismo tiempo que incrementa su efectividad, esto mediante un acercamiento de primera mano con los equipos y la instrumentación que en un futuro se requiere que dominen para garantizar la seguridad del paciente, en la figura 1 se identifica el sistema de navegación quirúrgica del sistema.

Figura 1: Sistema de navegación quirúrgica.

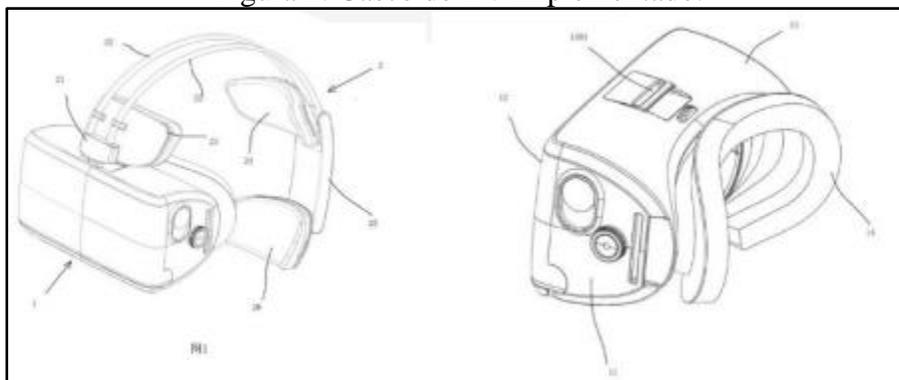


Fuente: ICCAS (Centro de innovación de cirugía asistida por computadora).

- **Casco de realidad virtual para el entrenamiento de habilidades de investigación clínica virtual inmersiva, ID:CN211698439U**, La tecnología se compone por con un casco de Realidad Virtual para el entrenamiento de habilidades de investigación clínica virtual inmersiva, en la figura 2 se evidencia el casco de RV implementado. La invención se desarrolla con el fin de mejorar las habilidades de pensamiento clínico, así como las habilidades clínicas de los estudiantes de medicina, esta invención comparte la tecnología del *oculus rift* con el presente proyecto desarrollado, pero en si no se relaciona con el estudio del funcionamiento de los equipos médicos en un entorno hospitalario.

En esta patente se evidencia cómo la realidad virtual fortalece las habilidades de los estudiantes, lo que garantiza la realización de prácticas en un ambiente controlado que tendrá repercusiones a largo plazo aumentando la efectividad de los estudiantes y bajando las tasas de mortalidad por errores prevenibles.

Figura 2: Casco de RV implementado.

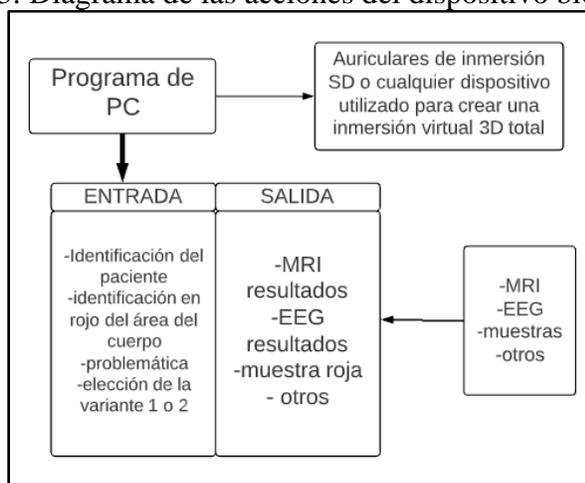


Fuente: *Changzhou wujin peoples hospital*.

- **Simulador médico, sistema y método de formación médica. ID: WO2020047761A1**, La invención en mención especifica un método de capacitación

de simulación médica. El desarrollo dispone de una obra con modelos que recopilan datos de patrones tridimensionales de una parte específica del cuerpo humano. Al igual, contiene una base de datos de modelos almacenados, también contiene un modelo de seguimiento de sensor el cual es empleado para adquirir información de funcionamiento de un usuario en el modelo tridimensional. El método empleado en la realidad aumentada del procedimiento de la navegación quirúrgica adiciona un paso de preparación de un modelo virtual multidimensional asociado con el paciente como se muestra en la figura 3. El método también incluye el paso de recibir información de seguimiento que indica la vista actual del cirujano del paciente, incluida la posición del cirujano en relación con el paciente y la perspectiva del cirujano del paciente. En esta patente se evidencia como mediante la tecnología de realidad aumentada se han podido desarrollar programas educativos en torno al área de salud, como medida que garantiza un incremento en la eficiencia del estudiante debido a que se les facilita el acceso a prácticas de forma más recurrente y se extrapola el miedo a cometer errores.

Figura 3: Diagrama de las acciones del dispositivo biomédico.



Fuente: Patents inspiration.

- ***Dispositivo biomédico para tratamiento por inmersión virtual, ID: US7946974B2,***

La invención se refiere a un dispositivo biomédico, que incluye un medio informático, la inmersión permite que el paciente se sumerge en un ambiente virtual, al igual, contiene una interfaz en la cual se examina los medios informáticos y también recoger resultados de diferentes para poder obtener resultados. La invención busca una respuesta psiconeurológica, las limitaciones de esta patente se evidencian en la falta de un ambiente específico sin embargo la principal oportunidad se evidencia en la respuesta positiva que causa la realidad virtual en procesos de aprendizaje.

La anterior patente expone un gran avance dentro del diagnóstico clínico, ya que permite la integración de componentes de TI con tecnología de inmersión virtual, facilitando la emisión de resultados de exámenes médicos y de análisis en torno al tratamiento a seguir del paciente. Ahora bien, llevando este tipo de desarrollos a un ambiente biomédico, se podría adaptar el enfoque hacia el manejo de equipos médicos, en donde se logre una experiencia hiperrealista con casos en tiempo real.

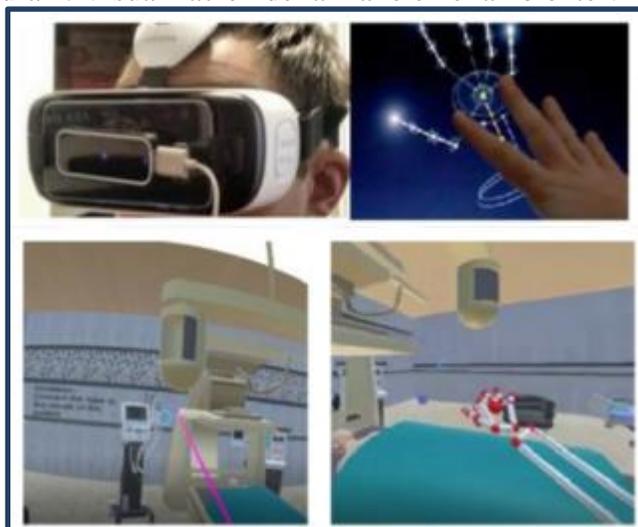
- **2.2 Artículos científicos**

- ***Capacitación de sala de emergencias de un hospital con realidad virtual y” leap***

motion”, El objetivo del proyecto enmarcado en este artículo es proveer una experiencia virtual para los estudiantes de medicina con el fin de aprender técnicas y habilidades en la unidad médica de cuidados intensivos, permitiendo una interacción con el equipo en un entorno virtual. En este caso la interacción con la sala médica virtual es controlada por la herramienta “*Leap Motion Controller*” la

cual es usada para rastrear el movimiento de las manos, en la figura 4 se identifica en escenas el uso del *leap motion* y las diferentes vistas de la mano en el ambiente virtual. *Leap Motion* tiene la capacidad de agarrar un objeto en el mundo virtual para de esta manera garantizar que todos los procedimientos realizados en la unidad de cuidados intensivos virtual se puedan realizar con el movimiento de las manos desnudas.

Figura 4: Visualización de la mano en el ambiente virtual.



Fuente: International conference on machine vision and human-machine interfaz.

- ***Creación de prototipos de juegos serios de realidad virtual para la preparación de edificios en caso de terremoto, estudio de caso del Hospital de la ciudad de Auckland***, En este artículo se busca exponer las ventajas de realizar capacitaciones virtuales que permitan tener la información precisa de cómo proceder ante un evento catastrófico como lo es un terremoto. La Realidad Virtual (VR) y los Juegos Serios (SG) representan técnicas novedosas que pueden superar las limitaciones de los enfoques de entrenamiento tradicionales. Es importante tener en cuenta el manejo ante situaciones de riesgo, no solo por el hecho de realizar un correcto plan de

evacuación sino también por el hecho de garantizar en la mayor medida posible el bienestar de los pacientes que se encuentran en salas especializadas de los hospitales con la dependencia de equipos médicos, a continuación, en la figura 5 se pueden observar diferentes escenas del ambiente virtual.

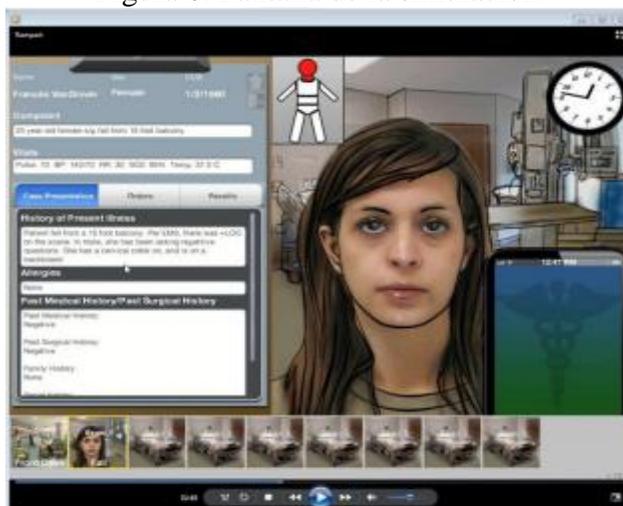
Figura 5: Ambiente creado en realidad virtual.



Fuente: School of Engineering and Advanced Technology.

- ***Simulación basada en realidad virtual para la medicina de urgencias pediátricas:***
El artículo describe una simulación basada en pantalla (SBS) y Realidad Virtual tridimensional (3D VR) aplicadas a la medicina de emergencia pediátrica (PEM), en donde se representan pacientes, poblaciones, situaciones y/o entornos. La simulación brinda oportunidades realistas, dinámicas y seguras para capacitar y evaluar la competencia del proveedor, la práctica basada en sistemas y en los entornos, en la figura 6 se observa una captura de pantalla de la simulación.

Figura 6: Pantalla de la simulación.



Fuente: Harvard Medical School.

- La implementación de una clínica en simulación de realidad virtual con retroalimentación háptica, con interacción dinámica con el paciente y comunicación para estudiantes de imágenes médicas:*** En este proyecto se desarrolló una clínica de simulación de Realidad Virtual (VR) inmersiva con una interacción y comunicación dinámica con el paciente con el fin de facilitar la formación de estudiantes de radiología. Se utilizó el software “*Cetson VR Clinic*”, en donde el entorno utiliza modelos 3D realistas escenarios clásicos integrados, comunicación dinámica, interacción de gestos realizados con la mano en 3D, seguimiento estereoscópico posicional, entre otras características, la figura 7 identifica una captura de pantalla de la aplicación. Los resultados mostraron una percepción positiva en cuanto a la mejora de las habilidades clínicas y técnicas de los estudiantes que usaron el software.

Figura 7: Captura de pantalla mostrando posterior-anterior (Pensilvania) configuración de rayos X de la mano realizada por un estudiante de radiografía de primer año.



Fuente: CETSOL SLE.

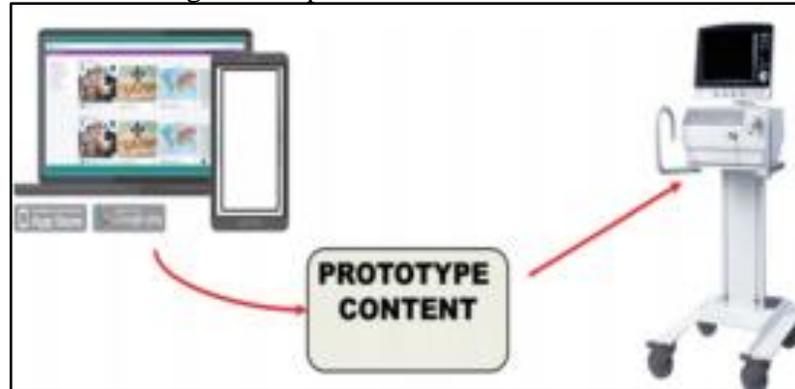
○ 2.3. Búsquedas abiertas

A continuación, se presentan algunas búsquedas en la web con la documentación que hace referencia al objeto de estudio de la presente invención:

- ***La tecnología de realidad aumentada como herramienta para una mejor usabilidad de los equipos médicos:*** El artículo presenta una propuesta para desarrollar una plataforma que brinda soporte en la orientación y en la enseñanza a los usuarios de dispositivos médicos. Con esta plataforma de realidad aumentada, a través del uso de dispositivos móviles, el usuario puede acceder a información en tiempo real de procedimientos de ajustes, características, maneras de usar y controlar el equipo médico. El prototipo se desarrolló con un ventilador pulmonar usando realidad aumentada, teniendo en cuenta que el uso de ventiladores pulmonares modernos representa un reto para los usuarios debido a las configuraciones y

distintos parámetros, la figura 8 demuestra la aplicación creada y un prototipo del contenido.

Figura 8: Aplicación con su contenido.



Fuente: Biomedical Engineering Institute.

- ***Aplicación de la tecnología de realidad virtual en medicina clínica:*** En esta revisión científica se discute la aplicación de la tecnología de realidad virtual en la medicina clínica, especialmente en el entrenamiento quirúrgico, manejo del dolor y tratamiento terapéutico de la salud mental, en la figura 9 se demuestra cómo es la tecnología al ser usada por usuarios. Mostrando que en casi todos los estudios se llega a la misma conclusión que tanto doctores como pacientes se benefician de esta tecnología.

Figura 9: Tipo de simulador de realidad virtual para entrenamiento.



Fuente: Hospital de la torre del tambor de Nanjing.

Las tecnologías encontradas anteriormente no impactan de manera directa la novedad y el concepto inventivo, debido a que no divulgan similares o idénticas características o atributos del presente proyecto.

3. Objetivos

○ 3.1 Objetivo general

Desarrollar un sistema interactivo para el entrenamiento de personal en ingeniería clínica en los componentes de dotación e infraestructura del SUH en salud, mediante realidad virtual creando un servicio de UCI adultos de un hospital acreditado.

○ 3.2 Objetivos específicos

- Establecer un diseño conceptual y técnico de un sistema hardware-software para el entrenamiento interactivo del personal en ingeniería clínica, caracterizando el servicio de UCI desde la perspectiva técnica, operativa y funcional para los componentes infraestructura y dotación.
- Modelar virtualmente en Unity el servicio de UCI de un hospital acreditado de acuerdo con las características técnica, operativa y funcional en el marco del SUH, a partir de la integración de herramientas interactivas, auditivas, de movimiento y visuales al servicio médico virtual modelado.
- Evaluar el desempeño del sistema virtual interactivo implementado, considerando la evaluación en consenso de profesionales de un departamento de ingeniería de un hospital acreditado.

4. Justificación

En la actualidad la ingeniería clínica y biomédica se está posicionando en numerosos departamentos de Colombia, con el fin de conocer la situación real de los programas de pregrado con respecto a ingeniería biomédica, se realizó una caracterización de estos programas en Colombia, estos datos fueron adquiridos de la página web del Ministerio de Educación de la República de Colombia por medio del Sistema Nacional de Información de la educación superior (SNIES), la cual es una herramienta de búsqueda ejecutada para estos propósitos, así mismo, se realizó una búsqueda por las palabras clave Ingeniería Biomédica y Bioingeniería donde se tiene las denominaciones de Universidad (U), Institución Universitaria (IU), Institución Tecnológica (IT), Registro Calificado (RC) y Acreditación de Alta Calidad (AC).

Tabla 1: Universidades de Colombia que ofertan ingeniería biomédica.

Nombre de la institución	U	IU	IT	CANTIDAD DE SEDES	RC	AC
Universidad Antonio Nariño	X			3 (Bogotá, Cartagena, Popayán)	X	
Instituto Tecnológico Metropolitano (ITM)		X		1 (Medellín)	X	
Universidad Autónoma de Manizales	X			1 (Manizales)	X	
Escuela Colombiana de Carreras Industriales		X		1 (Bogotá)	X	
Universidad Autónoma de Occidente	X			1 (Cali)	X	
Universidad Manuela Beltrán	X			2 (Bucaramanga, Bogotá)	X	
Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito.		X		1 (Bogotá)	X	

Escuela de Ingeniería de Antioquia		X		1 (Medellín)	X	X
Universidad Santiago de Cali	X			1 (Cali)	X	
Universidad de Antioquia	X			1 (Medellín)	X	
Colegio Mayor de Antioquia		X		1 (Medellín)	X	
Universidad de los Andes	X			1(Bogotá)	X	

De la tabla 1 se evidencia como la ingeniería biomédica en la actualidad, se está posicionando gradualmente en las diferentes universidades de Colombia, con un total de 12 universidades a nivel nacional, siguiendo esta idea es evidente que para la formación de los estudiantes es necesario tener convenios con instituciones prestadoras de salud, donde el ingeniero se pueda entrenar en el manejo de la tecnología de realidad virtual, esta situación es muy compleja debido a factores como la falta de conocimiento de la tecnología y el poco contenido educativo de realidad virtual disponible, sin embargo los ingenieros necesitan aprender y operar esta tecnología de forma idónea para disminuir los posibles eventos e incidentes adversos que se puedan generar por el déficit educativo, por lo tanto no tener esta tecnología radica en una problemática con respecto a la formación del ingeniero biomédico, ya que al no estar capacitados en el ambiente hospitalario puede generar pocas condiciones de seguridad para el ingeniero.

Durante los últimos años, la realidad virtual (VR) ha emergido rápidamente como una nueva área de investigación multidisciplinaria, su alcance ha aumentado más allá de los videojuegos. Según la revista de Neurociencias y Neurosicoeducación Número 83 dice que para consolidar un recuerdo en nuestra memoria, este necesita estar conectado a una emoción medianamente fuerte que estimule al cerebro, es por esto que la realidad virtual brinda emociones fuertes gracias a la inmersión en un mundo virtual, ya que la RV consigue

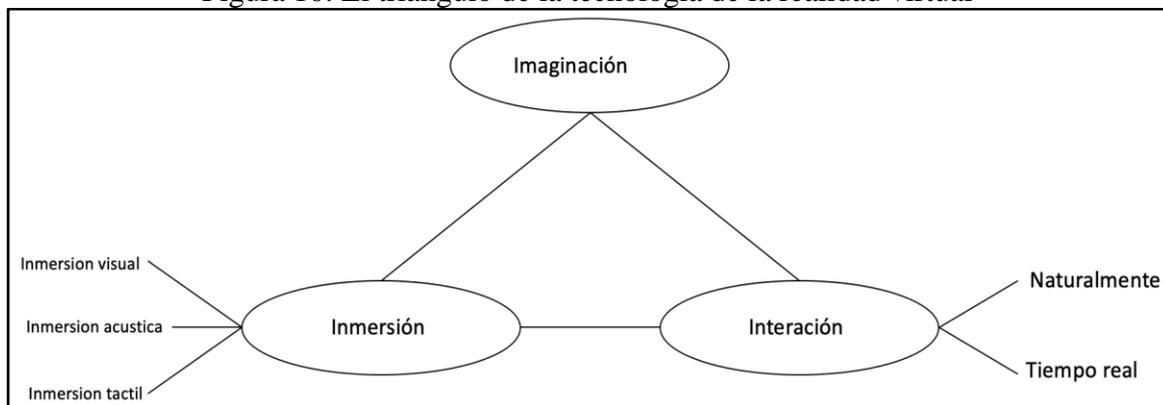
que la persona tenga la experiencia de estar en un mundo virtual creado totalmente en 3D, es por esto, que la RV puede actuar fuertemente sobre nuestros sentidos, como dice Zapatero (2011), en su artículo “La realidad virtual como recurso y herramienta útil para la docencia y la investigación” dice que el 83% del aprendizaje que una persona adquiere se obtiene a través de los ojos, siguiendo esta idea se puede hablar de la realidad virtual como una herramienta completa para el aprendizaje en la ingeniería clínica, puesto que esta es un apoyo esencial en la asociación de conceptos técnicos para el rol que desempeñan el personal de las área nombrada, por otra parte, se tiene un panorama totalmente diferente en cuanto al uso de esta tecnología, debido a la falta de simuladores que brinden un soporte referente a la normativa en relación con la habilitación de servicios hospitalarios, gracias a esto, se puede detallar la importancia del desarrollo de nuevas herramientas tecnológicas de apoyo para el rol ocupacional del ingeniero, sumado a esto la actual pandemia por coronavirus (COVID- 19) ha generado el mayor caos en la historia de la educación, según la Organización de naciones unidas (ONU, 2020), esta pandemia afectó a un aproximado de 1.600 millones de estudiantes alrededor del mundo, junto a esto, la restricción total de prácticas hospitalarias genera una fuerte preocupación en cuanto a la formación del ingeniero clínico y biomédico, con respecto a la asociación de la normativa de habilitación de servicios hospitalarios, es por esto que se evidencia una clara necesidad de implementar nuevos elementos dentro de las herramientas pedagógicas, como lo sería la realidad virtual en especial en el campo del ingeniero clínico.

5. Marco teórico

○ 5.1. Realidad virtual

La realidad virtual (VR) es una tecnología que permite a una persona sumergirse en un mundo artificial por medio de dispositivos que simulan digitalmente un entorno por medio de una computadora. La realidad virtual permite a una persona vivir una experiencia de inmersión y tener una actividad sensoriomotora en un mundo artificial. Al garantizar la inmersión total, el usuario será un casco de realidad virtual. Éste utiliza el principio de la eficiencia en 3D estereoscópico para visualizar el placer en una especie de mundo virtual para una máquina. La realidad virtual tiene tres características técnicas: inmersión, interacción e imaginación. Estas tres características están interconectadas y se influyen entre sí. Se llama "el triángulo de la tecnología de realidad virtual" plasmado en la figura 10.

Figura 10: El triángulo de la tecnología de la realidad virtual



Fuente: College of Animation and Digital Art, Communication University of China.

5.1.1. Elementos esenciales de la realidad virtual

Según Ibrahim (2017) un sistema de realidad virtual tiene varios elementos básicos, como se muestra en la tabla 2:

Tabla 2: Definición de los elementos.

ELEMENTOS	DEFINICIÓN
Mundo Virtual	Es un mundo generado por una computadora. El mundo virtual consta de objetos y principios del espacio. Aquellos objetos y principios integrados entre sí por relaciones
Inmersión	Hace que la sensibilidad del mundo como el usuario vive en su interior y puede tocarlo. La inmersión no es justa visto el mundo sin sentido.
Retroalimentación sensorial	Este elemento permite al usuario llegar un resultado sensato basado en lo que es la entrada del usuario. Los resultados de sensibilidad también están basados en el lugar del usuario, la acción y navegación.
Interactividad	Este cuarto elemento es responsable de ofrecer la realización y por representar el mundo virtual. El artículo permite al usuario interactuar con objetos en el lugar del mundo virtual.
Módulo de aprendizaje en atención en salud	El módulo de aprendizaje es un material educativo organizado de tipo didáctico e interactivo, este contiene los conceptos claves para el aprendizaje del contenido de atención en salud.
Confiabilidad de los datos del ambiente virtual	La confiabilidad de datos se encarga de que el programa de realidad virtual funcione de forma limpia y correcta siendo fiel a los diseños originales.
Usabilidad	Este elemento es responsable de medir la experiencia que tiene el usuario cuando está

	interactuando con el sistema desarrollado.
--	--

5.1.2. Educación y entrenamiento con realidad virtual

Un área de aplicación importante de los sistemas de realidad virtual siempre ha sido el entrenamiento de actividades de la vida real. El atractivo de las simulaciones es que pueden proporcionar una formación igual o casi igual a la práctica del sistema real, pero a un coste menor y con mayor seguridad.

- **5.2 Ambientes simulados para el entrenamiento de personal en salud.**

La capacitación médica usando realidad virtual permite una nueva etapa en la educación del personal de salud, Según Vázquez-Mata, G. (2008), la tecnología de realidad virtual no solo se considera como un aprendizaje experiencial y eficaz, sino que también se considera un enfoque de aprendizaje rentable para practicar una serie de escenarios clínicos simulados en salud, todo esto con el fin de que el personal de salud desarrolle las habilidades y la confianza necesarias cuando se encuentran en una situación de la vida real, La realidad virtual tiene diferentes ambientes que se pueden simular para entrenamiento en personal de salud figura 11, como por ejemplo fisioterapia, entrenamiento para doctores, tratamiento para miedos fobias, superar la adicción, meditación para ansiedad y entrenamiento en parte legal como leyes y resoluciones.

Figura 11: Simulador de ambiente médico para entrenamiento en personal de salud.



Fuente: Sociedad española de cirugía de obesidad.

○ 5.3. Unity

Unity comúnmente conocido como Unity3D es un motor de juegos para crear medios interactivos, generalmente videojuegos, Unity en sí es un conjunto de herramientas que se utiliza para crear juegos, y es la tecnología que ejecuta los gráficos, el audio, la física para las diferentes interacciones con el usuario. Unity es famoso por sus capacidades de creación rápida de prototipos y una gran cantidad de objetivos de publicación. Unity tiene tres componentes importantes. A continuación, en la tabla 3, se recopilan los componentes de Unity.

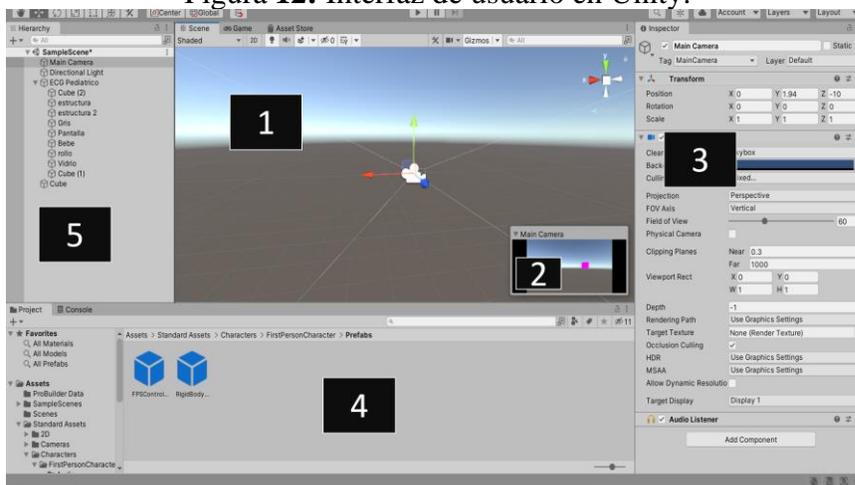
Tabla 3: Componentes de Unity.

Componentes de Unity	Descripción
Motor de juegos	El motor de juegos permite crear juegos, probarlos y jugar en diferentes entornos.
Interfaz de usuario	El diseño o la interfaz de usuario es una opción de vista previa de gráficos y control de funciones del juego.
Editor de código	El IDE proporciona un editor de texto para escribir código. Sin embargo, a menudo se utiliza un editor de texto independiente para evitar confusión

■ 5.3.1. Interfaz de usuario de Unity

La versión implementada para el desarrollo del ambiente virtual fue Unity 2020.3.11, esta versión es compatible con Oculus los cuales se usan para la proyección de la realidad virtual y con los, así mismo, cuenta con entornos y gráficos de calidad tanto en 2D como en 3D, al igual, tiene una óptima curva de aprendizaje, el editor cuenta con un potencial amplio para hacer diferentes ajustes en el entorno, lo que provoca que el desarrollador se sienta más cómodo a la hora de personalizar aquellas partes que el ambiente requiere, además, cuenta con una tienda online que es la más completa que existe en la actualidad, presenta una gran variedad de objetos y herramientas que facilitan el desarrollo. Unity cuenta con una interfaz que se subdivide en un total de 5 áreas de trabajo, estas áreas se pueden repartir al gusto del usuario, a continuación, en la figura 12 se explicara cada uno de sus componentes.

Figura 12: Interfaz de usuario en Unity.



Fuente: Propia

1. Vista de escena

La vista de escena permite escoger entre muchas opciones para poder visualizar la escena, otra opción muy importante es la de controlar si la iluminación y el audio están habilitados. Estas herramientas de control solo afectan la forma de ver la escena durante el desarrollo y no tienen ningún efecto en el juego creado.

2. Vista de juego

La ventana de vista del juego es la zona donde se puede observar la apariencia del juego que publicas, es como el simulador de tu proyecto. También es útil para detectar errores e inconsistencias en el proyecto.

3. Vista de inspector

La vista de inspector tiene varias funciones, esta zona del software es usado para ver y editar propiedades de objeto, así como también se puede ver y editar preferencias y otros ajustes dentro de Unity, la vista de Inspector muestra varios scripts personalizados adjuntos a un GameObject y las propiedades públicas que pueden editar.

4. Vista de jerarquía

Contiene cada uno de los objetos del juego en la escena actual. Algunos de estos objetos son archivos de activos, como modelos 3D o animaciones de estas, mientras que otros son archivos prefabricados ya sean colores, texturas etc. Así pues, los objetos personalizados constituirán la mayor parte de su juego. Puede seleccionar objetos en la jerarquía y luego arrastrar a la escena actual del proyecto.

5. Vista de proyecto

En esta zona se puede tanto acceder y gestionar los diferentes tipos de *assets* que se tengan en el proyecto, en esta zona se puede importar diferentes tipos, formas y figuras de otras aplicaciones.

○ 5.4. Blender

Blender es un Software multiplataforma, que se dedica a múltiples funciones digitales como modelado 2D y 3D, iluminación de escenas, renderizado de imágenes, animación y creación de gráficos tridimensionales. Blender crea y desarrolla diferentes modelos tridimensionales

a través de diferentes técnicas de procesamiento, también cuenta con edición de vídeo, escultura y pintura digital.

■ 5.4.1 Renderización con Blender

Cuando se habla de renderización se hace referencia al proceso de generar un modelo o imagen fotorrealista, a partir de un modelo 2D o 3D. Este proceso se puede lograr mediante la aplicación de diferentes modificadores que dispone Blender.

En la tabla 4, se resumen los diferentes modificadores que se aplican a los objetos 3D para la renderización de estos mismos.

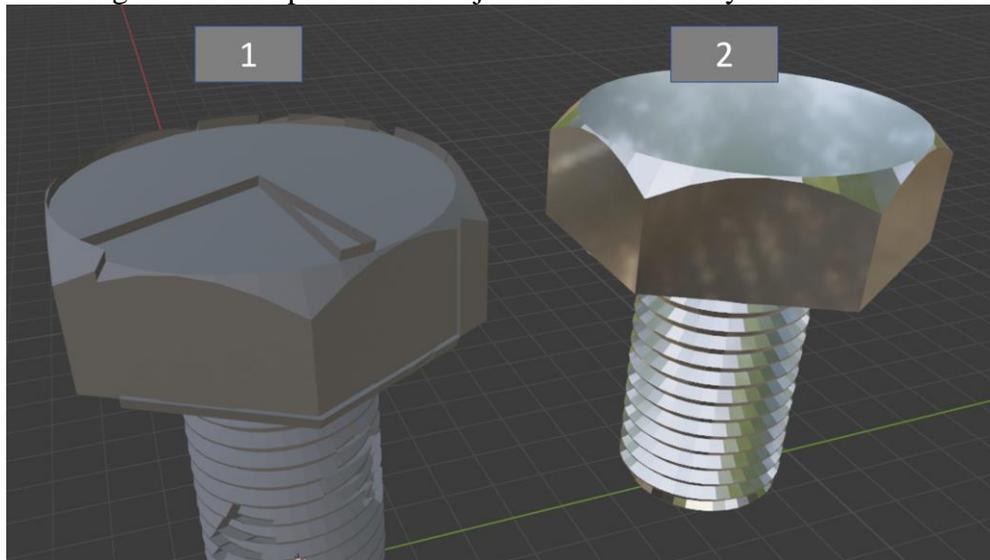
Tabla 4: Lista de modificadores.

Modificador	Descripción
Biselar	Permite generar esquinas en ángulo agregando geometría a los bordes o vértices de la malla.
Booleana	Permite usar otra forma para cortar, combinar o realizar operaciones de sustracción.
Dividir bordes	Permite separar caras que se encuentran unidas por sus bordes.
Simetrizar	Permite simetrizar en torno a los ejes X, Y o Z.
Enroscar	permite torneado alrededor de un eje, tratando al objeto base como un perfil.
Subdividir superficie	Permite dividir las caras en partes más pequeñas.

Al momento de aplicar los diferentes modificadores en el objeto 3D Blender añade fotorrealismo, textura, color, etc. En la figura 13 se puede apreciar en la parte izquierda marcado con el número 1 un modelo 3D de un tornillo metálico sin renderizar y en la parte

derecha (número 2) el mismo tornillo aplicado a los diferentes modificadores expuestos en la tabla 4.

Figura 13: Comparación de objetos sin renderizar y renderizados.



Fuente: Propia

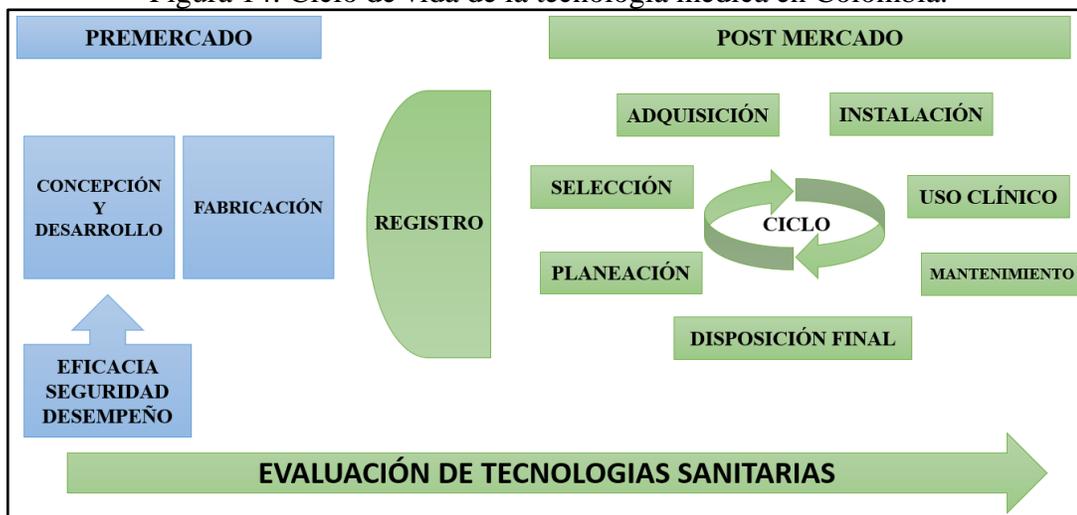
○ 5.5. Ingeniería clínica

La ingeniería clínica es una rama de la ingeniería biomédica la cual se encarga de garantizar la disponibilidad de la tecnología biomédica para el servicio de la salud, entendiendo que la tecnología biomédica son herramientas de apoyo del personal asistencial de salud para realizar procesos dentro del plan de salud, en si esta se encarga de asegurar que exista una operatividad en cuanto a la tecnología de salud, todo esto en condiciones de: seguridad, oportunidad y pertinencia, todo este proceso se lo conoce como gestión de tecnología, cuando hablamos de IC tenemos que hablar sobre la tecnología en salud ya que el ingeniero clínico se encarga de gestionar esta, para que de esta forma las herramientas de apoyo al personal de salud ayuden a promover la atención y cuidado de la salud con el fin de prevenir, realizar diagnóstico, tratamiento o rehabilitación.

■ 5.5.1. Ciclo de la tecnología biomédica

Toda la tecnología biomédica tiene un ciclo, este ciclo inicia desde la creación de esta hasta su disposición final dentro de los servicios de salud, este ciclo tiene dos etapas una de pre-mercado y otra de post mercado plasmados en la figura 14.

Figura 14: Ciclo de vida de la tecnología médica en Colombia.



Fuente: Presentación, programa nacional de tecnovigilancia (Invima, 2010).

Dentro de la etapa de pre-mercado se tienen dos fases importantes que son la concepción y desarrollo de la tecnología y la fabricación de tecnología marcados en unos principios de eficacia y seguridad, por otro lado, se tiene el ciclo de post mercado donde tenemos diferentes desde la adquisición de la tecnología hasta la disposición final, un punto muy importante es la capacitación en cuanto a la tecnología.

○ 5.7. Resolución 3100 del 2019.

Tiene por objeto definir los procedimientos y las condiciones de inscripción de los prestadores del servicio de salud y de habilitación de los servicios de salud, así como de adoptar en el anexo técnico, el manual de inscripción de prestadores y de habilitación de

servicios de salud. La resolución establece siete estándares mínimos de habilitación de servicio, los cuales son: talento humano, infraestructura, dotación, medicamentos, dispositivos médicos e insumos, procesos prioritarios, historia clínica y registros.

En el entorno desarrollado se cumplen los estándares de infraestructura y dotación, los cuales se verán demostrados.

■ **5.7.1. Infraestructura hospitalaria**

Cada servicio hospitalario acreditado debe cumplir con adecuaciones mínimas para soporte vital y crítico en cada instalación. Esto es importante ya que acredita de alta calidad a la institución.

■ **5.7.2. Dotación**

Cada servicio hospitalario debe de cumplir con equipo industrial de uso hospitalario, equipos de comunicaciones e informática y equipos biomédicos.

■ **5.7.3. Condiciones de habilitación que deben cumplir los prestadores del servicio de salud al habilitar un servicio hospitalario especializado**

Para mantener los estándares de alta calidad en salud el prestador que habilite un servicio es el responsable del cumplimiento de todos los estándares y criterios aplicables en el servicio.

Los prestadores del servicio de salud para su ingreso y permanencia en el Sistema Único de Habilitación (SUH) del Sistema Obligatorio de Garantía de Calidad de la Atención de Salud (SOGCS), deben cumplir los siguientes requisitos: Capacidad técnico - administrativa, capacidad patrimonial y financiera, capacidad tecnológica y científica. Capacidad tecnológica y científica es el componente que se incluye en el proyecto desarrollado, cumpliendo con los requerimientos mínimos.

- **5.8. Servicio de salud - Unidad de Cuidados Intensivos**

La unidad de cuidados intensivos es un servicio hospitalario en el cual se puede tratar la atención de pacientes adultos en estado crítico o en edad médica estándar, con enfermedades que requieran apoyo especializado, seguimiento y manejo de la vida, con afecciones clínicas que pongan en peligro la vida de manera inminente. Para la habilitación de dicho servicio hospitalario se deben de cumplir los estándares de habilitación estipulados por la resolución vigente actual.

6. Diseño metodológico

La creación de este proyecto se divide en dos partes, la primera parte consta de los materiales utilizados, donde se da a conocer como el proyecto está constituido un software y hardware, la segunda parte son los métodos la cual se basa en las etapas del CDIO para la construcción del proyecto.

- **6.1. Materiales del desarrollo**

De acuerdo a las necesidades del proyecto se utilizan herramientas como un *software* y *hardware*, los cuales se agregan mediante el desarrollo del proyecto ya que permiten trabajar de una manera que facilite la interacción, al igual brindan interfaces, conexiones fáciles de utilizar y cómodas para el usuario final, las herramientas que se implementan en el desarrollo se muestran en la tabla 5.

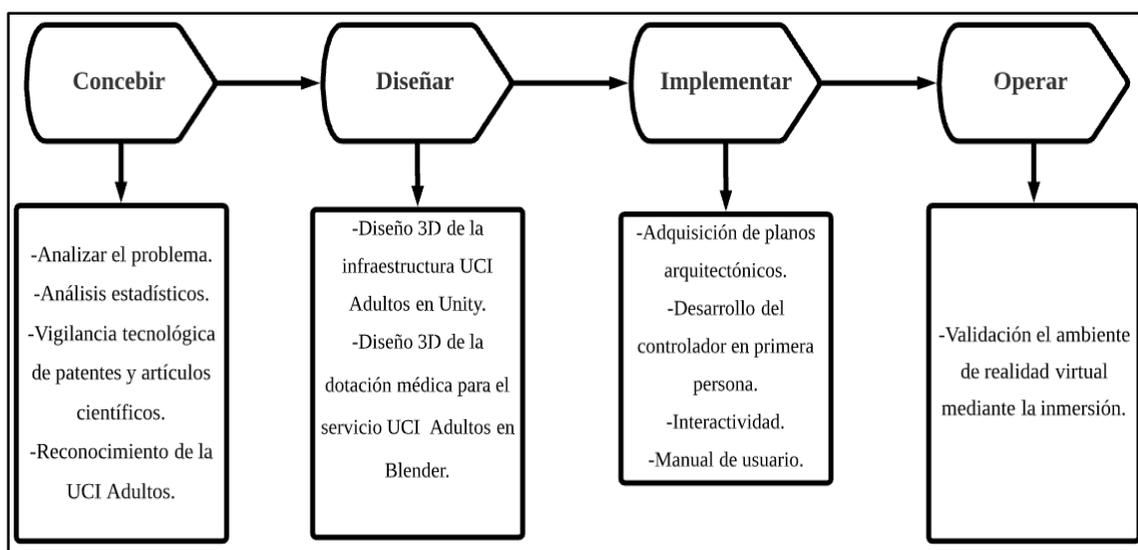
Tabla 5: Lista de materiales para el desarrollo del proyecto.

Tipo	Herramienta
Hardware	Casco de VR <i>Oculus Rift</i>
	Ordenador
Software	Unity 3D
	Blender 3D
	<i>Oculus VR software</i>
	Visual Studio Code

○ **6.2. Marco de referencia para el desarrollo del trabajo de grado**

Para la creación de este proyecto se siguieron los lineamientos de las etapas del marco de referencia como lo son Concebir - Diseñar - Implementar - Operar (CDIO), para el desarrollo en realidad virtual de la UCI Adultos.

Figura 15: Etapas CDIO implementadas en el proyecto.



Fuente: Propia.

Tabla 6: Metodología CDIO.

Concebir	En base a la falta de herramientas para el entrenamiento del personal clínico se concibió diferentes estrategias para el desarrollo tecnológico, teniendo en cuenta diferentes parámetros como análisis estadísticos y vigilancias tecnológicas, esto con el fin de implementar un ambiente virtual de la unidad de cuidados intensivos adultos de un hospital acreditado.
Diseñar	Acorde con la etapa de concebir, se procede a la creación y modelado 3D de la infraestructura y la dotación médica de la unidad de cuidados intensivos adultos, en esta etapa se inició la construcción de la infraestructura hospitalaria en la plataforma Unity análogamente se dio inicio en la plataforma Blender al modelado 3D de los dispositivos médicos bajo las normativas del sistema único de habilitación (SUH).
Implementar	En esta fase se obtuvieron los planos en 2D de la red de gases y la red eléctrica del servicio hospitalario UCI adultos del HSLV, una vez implantados en la infraestructura se procedió a la creación del controlador en primera persona, el cual trabaja en conjunto con los <i>Oculus Rift</i> dando la sensación de inmersión, por otra parte el desarrollo de diferentes componentes de interactividad implementados en el ambiente virtual junto a esto el diseño de un proceso de evaluación por medio de un cuestionario que evidencia el nivel de conocimiento que adquirió el usuario en el ambiente y en su etapa final se creó un manual de usuario, el cual contiene las instrucciones para su correcto uso e instalación de la parte hardware y software.
Operar	Mediante el <i>Oculus Rift</i> el usuario estará inmerso en el ambiente virtual, donde podrá recorrer la infraestructura e interactuar y conocer los dispositivos médicos con los que cuenta el servicio hospitalario, para finalizar se evaluará al usuario de sus conocimientos adquiridos mediante su recorrido, con el fin de fortalecer el nivel de aprendizaje e incluyendo nuevos procesos de inducción al personal clínico en las instituciones prestadoras de salud.

- **6.3. Implementación del sistema**

A continuación, se especifica la metodología paso a paso para el diseño y modelado de un ambiente 3D del servicio hospitalario en base a los conocimientos adquiridos por SUH, dando un enfoque en los estándares de dotación e infraestructura, además se realizó una validación con el personal clínico.

- **6.4. Caracterización de la UCI Adultos**

- Concebir:**

En el proceso de desarrollo del proyecto se establecieron diferentes fechas de visitas técnicas al HSLV, esto con el fin de tener un registro fotográfico de toda la UCI Adultos, con este registro fotográfico se tiene diferentes referencias en cuanto a la organización de infraestructura como (iluminación, alarmas, áreas estructurales, recorridos, cuartos, redes, cubículos, etc.) y toda la dotación médica necesaria que se encuentra en el servicio hospitalario, de este modo se crea una idea general detallada para el desarrollo del programa y su modelado en 3D, del mismo modo, se tiene registro fotográfico de dotación médica desde diferentes ángulos para obtener mayor detalle a la hora del modelado 3D, como se muestra en la figura 16.

Figura 16: Registro fotográfico dotación médica-Desfibrilador NIHON KOHDEN TEC56-31.



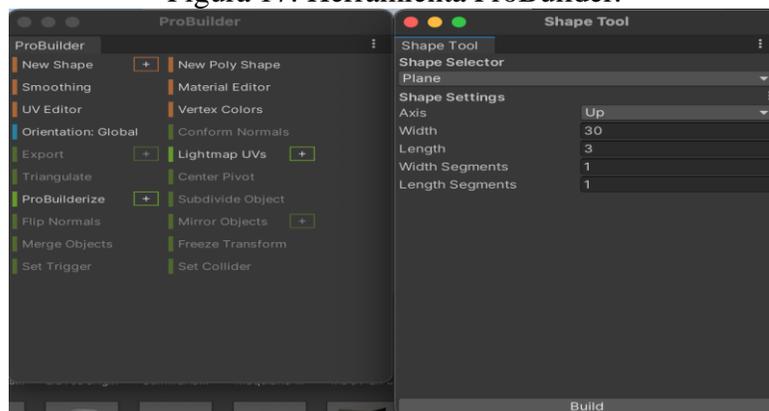
Fuente: Propia.

○ **6.5. Diseño 3D de la infraestructura de UCI Adultos.**

-Diseñar

Con base en las visitas de la UCI Adultos del Hospital Susana López de Valencia E.S.E. Se da comienzo a la creación de su infraestructura en la plataforma Unity. Para la creación de su infraestructura se añadió una herramienta llamada ProBuilder, el cual indica las propiedades del objeto en 3D, estas se pueden modificar de acuerdo con las medidas del diseño, esto con el fin de crear diferentes tipos de infraestructura como lo son: planos, cubos, arcos, esferas, cilindros, puertas, estrellas, prismas y gradas con medidas exactas de la infraestructura real.

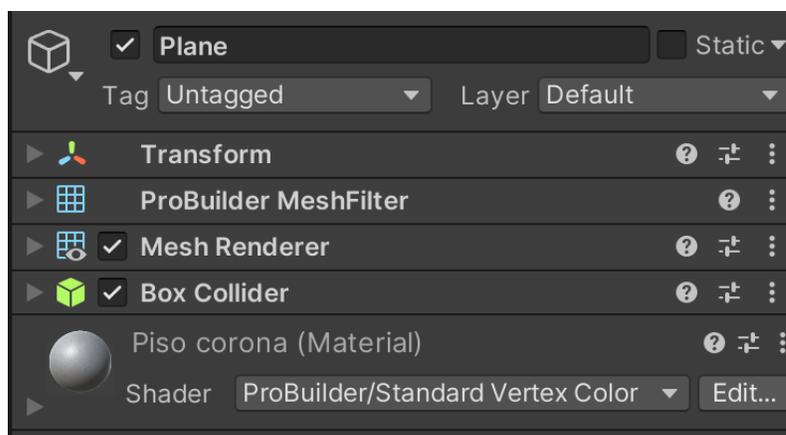
Figura 17: Herramienta ProBuilder.



Fuente: Propia

Una vez creado el objeto 3D, en el inspector se indican los componentes, para este proyecto los componentes utilizados fueron: *Transform* donde contiene la posición, rotación y la escala de objeto. ProBuilder MeshFilter el cual muestra el tamaño del objeto en X, Y, y Z, al igual permite generar mapas de luz para el objeto. *Mesh Renderer* el cual toma la geometría que está definida en el componente *MeshFilter* y la renderiza en la posición que le indica el componente *Transform*. *Box Collider* es una primitiva (las primitivas son formas básicas como cubos, esferas, planos) básica de colisión en forma de cubo. Y *Shader* donde se editan las texturas, colores y emisión del color, como se muestra en la figura 18.

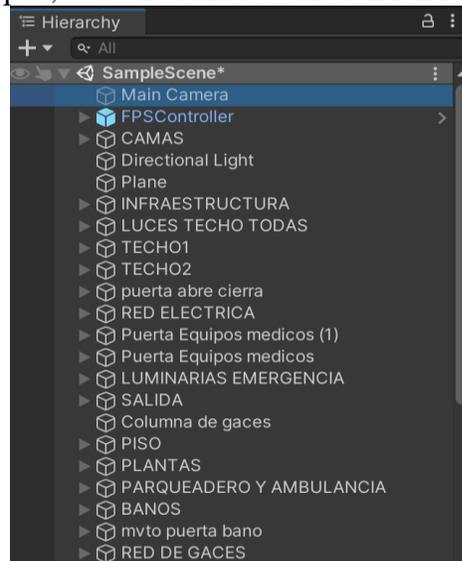
Figura 18: Propiedades de los objetos creados.



Fuente: Propia.

Los objetos creados que contiene la infraestructura se ubican en una ventana llamada jerarquía en el orden en que se fabrican.

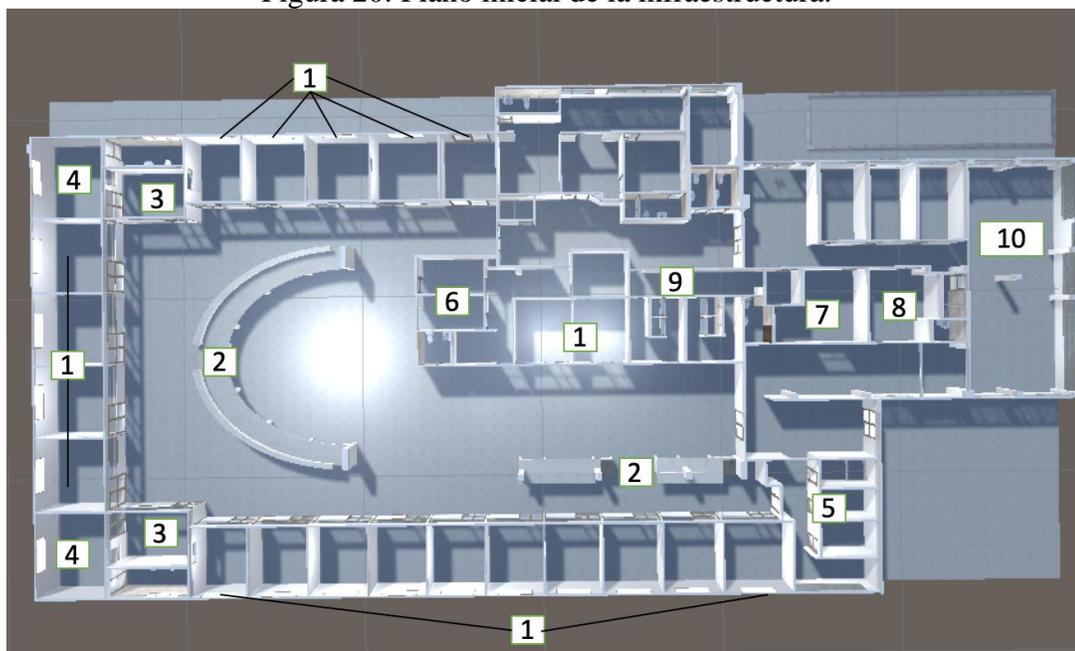
Figura 19: Jerarquía, ventana donde se encuentran los objetos creados.



Fuente: Propia.

La figura 20 es el producto de la creación de la infraestructura de acuerdo con los pasos anteriormente mencionados, al igual en la figura 20 se implementaron etiquetas para describir diferentes áreas del servicio de UCI.

Figura 20: Plano inicial de la infraestructura.



Fuente: Propia.

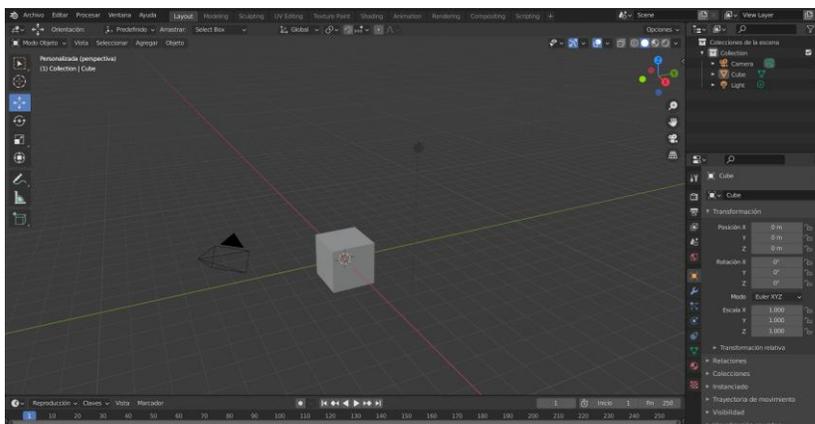
1. 20 cubículos para pacientes.
2. 2 estaciones de enfermería.
3. 2 antecámaras.
4. 2 cuartos aislados.
5. Área sucia.
6. Área de trabajo limpio.
7. Farmacia.
8. Área de equipos médicos.
9. Información a pacientes.
10. Área de descanso personal asistencial.

○ 6.6. Diseño 3D de la dotación médica de la UCI Adultos.

Para el diseño en 3D de la dotación médica del servicio UCI Adultos del HSLV se usó Blender 3D, este software cuenta con múltiples herramientas de desarrollo que facilitan la creación de modelos 3D renderizados para una mejor experiencia de realismo, además Blender también permite exportar e importar todos los modelos creados con formato (.fbx, .obj, .dae, .md2, etc.). En la Figura 21 se presenta el entorno de la plataforma de desarrollo

de Blender. Esta plataforma tiene lugar en la versión 2.93.4 la cual es la versión más actual, al igual en la versión reciente se desarrollaron y se editaron los diferentes diseños en 3D que serán parte del ambiente virtual.

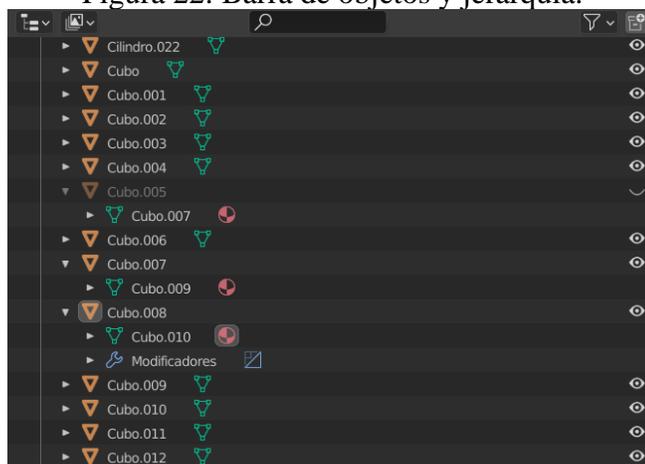
Figura 21: Entorno del modelado de Blender.



Fuente: Propia.

En la parte superior derecha de la plataforma se encuentra la sección de colecciones de escena, donde contiene los diferentes objetos y jerarquías que se encuentran en modelo 3D, en esta sección se puede activar y desactivar la visualización de los diferentes objetos que se encuentren en la escena como se detalla en la figura 22.

Figura 22: Barra de objetos y jerarquía.



Fuente: Propia.

La parte lateral derecha también cuenta con una ventana de propiedades del objeto Figura 23, en esta se presenta cada propiedad de los diferentes objetos de la escena, las propiedades pueden ser modificadas con el objetivo de tener un acabado 3D más preciso, la ventana permite la asignación de capas, luces, colores, texturas, etc. Además, permite modificar el tamaño, ubicación y ángulo del objeto.

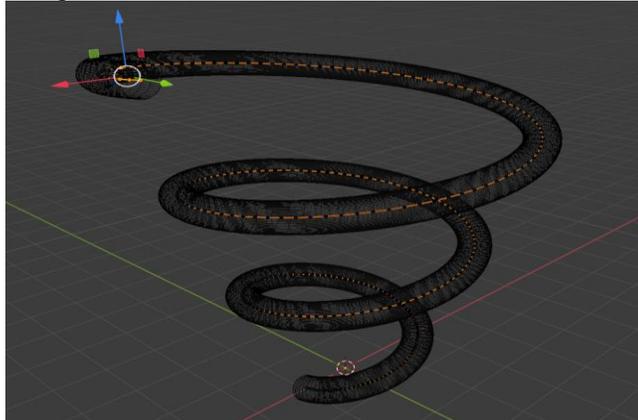
Figura 23: Ventana de propiedades de objetos.



Fuente: Propia.

Con la creación de superficies y curvas se da contornos a los diferentes equipos de dotación médica, en este caso los equipos tienen diferentes elementos curvados como lo son los botones, pantallas, la estructura, etc, esta forma curvada se puede manipular mediante la malla de los vértices como se aprecia en la figura 24.

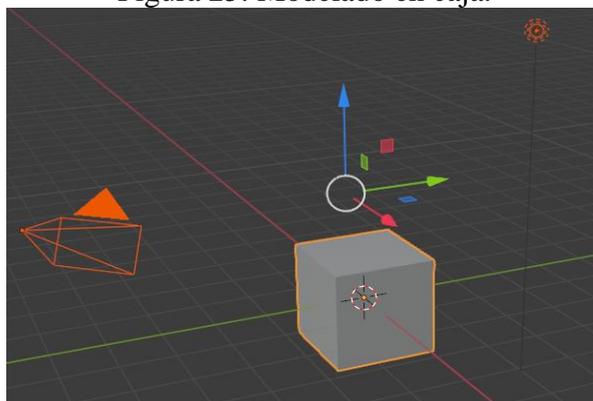
Figura 24: Construcción de curvas en Blender.



Fuente: Propia

Después de tener estos conceptos claves se inició con el modelado 3D, este se inicia con la creación de un plano general en 3D, en este plano se desarrolla un modelado en la caja, el cual se basa en iniciar el modelado 3D por medio de un cubo que es la figura prediseñada en blender, por medio de las herramientas del programa se puede modificar las caras, vértices y ángulos, de este modo se puede modificar la forma del cubo a la deseada por el usuario.

Figura 25: Modelado en caja.

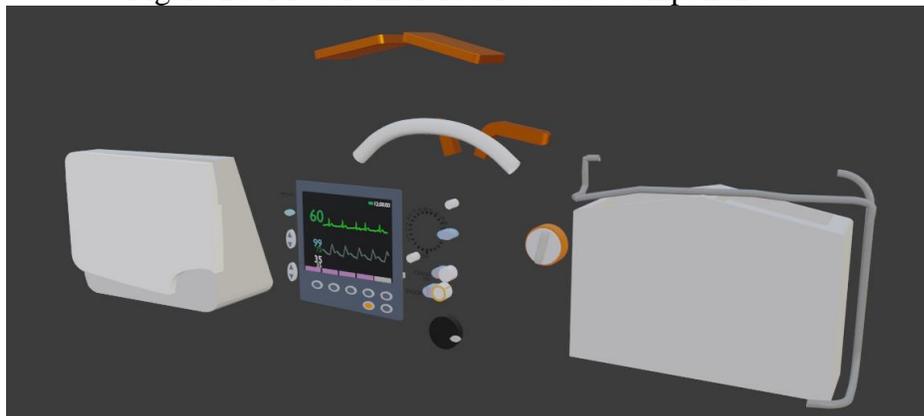


Fuente: Propia

Posteriormente se modela cada uno de los objetos por aparte como se puede ver en la figura 26, esto con el fin de darle detalle a la creación de la dotación médica, además de que cada

objeto contiene su textura y su color característico como por ejemplo tubos, botones, pantallas etc.

Figura 26: Modelo individual de cada componente.



Fuente: propia

Por último, se unen todas las partes creadas para obtener un solo objeto renderizado como se puede ver en la figura 27, este objeto se exportará en formato *.FBX* para su posterior uso en Unity.

Figura 27: Unión de todos los objetos creados.



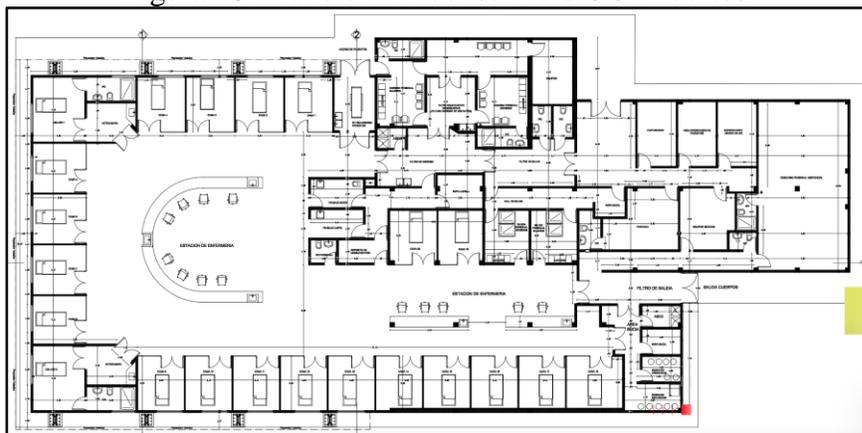
Fuente: Propia.

○ **6.7. Obtención de planos.**

-Implementar

Gracias al arquitecto del Hospital Susana López de Valencia se logró la obtención los planos 2D digitalizados de la infraestructura del servicio de UCI adultos, estos planos se dividen en diferentes secciones las cuales se dividen para su posterior modelado en 3D.

Figura 28: Plano en 2D del servicio UCI Adultos.



Fuente: Hospital Susana López de Valencia E.S.E

En la planta de distribución 2D se encuentra:

- ❖ 20 cubículos para pacientes.
- ❖ 2 cuartos de aislamiento.
- ❖ 2 antecámaras.
- ❖ 2 estaciones de enfermería.
- ❖ Cuarto trabajo sucio.
- ❖ Cuarto trabajo limpio.
- ❖ Depósito de medicamentos.
- ❖ Filtro ingreso pacientes.
- ❖ Área de aseo.
- ❖ Cuarto de ropa sucia.
- ❖ Cuarto residuos ordinarios.
- ❖ Cuarto riesgo biológico.
- ❖ Farmacia.
- ❖ Cuarto equipos médicos.
- ❖ Cuarto descanso personal asistencial.
- ❖ Coordinación médica de UCI.
- ❖ Área de información a pacientes.
- ❖ Facturación.
- ❖ Cuarto de control eléctrico.
- ❖ Ingreso personal hombres.
- ❖ Ingreso personal mujeres.
- ❖ 10 baños.
- ❖ Cuarto de ropa limpia.
- ❖ Filtro de salida.

- **6.8. Desarrollo del controlador en primera persona.**

Es la creación del personaje en la escena de tal manera que el usuario pueda sumergirse en el ambiente virtual como primera persona, para que cuando esté inmerso en el ambiente pueda caminar, correr, saltar y tocar objetos, de igual manera podrá interactuar con los objetos dentro de este y escuchar los audios implementados. La imagen 29 demuestra la etiqueta que le aparece al usuario al acercarse a un objeto desde su ordenador pulsando las teclas “F” y “X” para interactuar con el objeto. Se deja en claro que este proyecto fue realizado en un ordenador y estas acciones fueron codificadas en él.

Figura 29: Visión del personaje en primera persona.



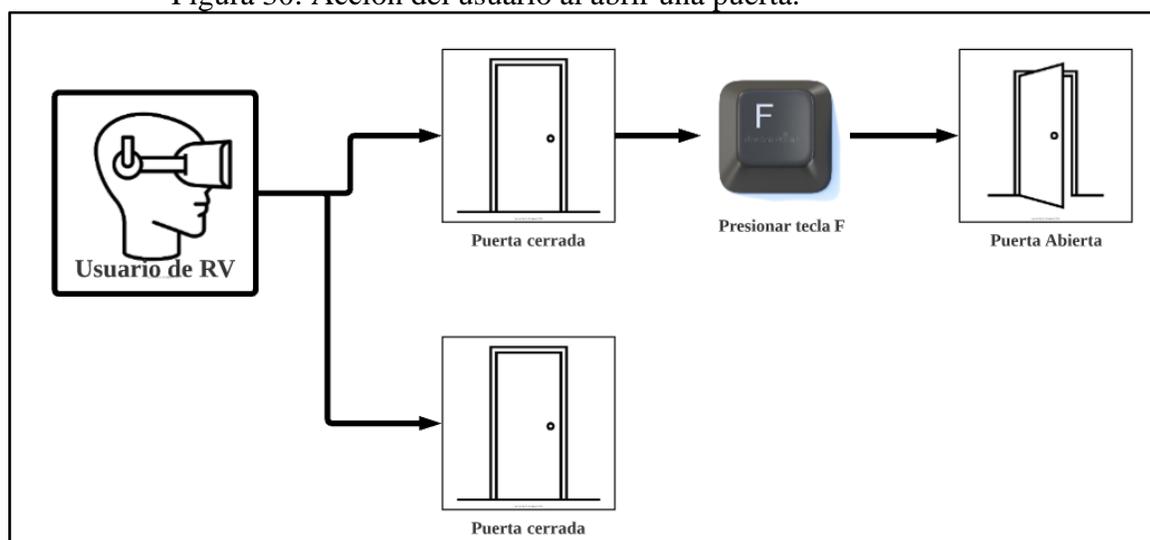
Fuente: Propia

- **6.9. Interactividad**

La interactividad en este proyecto es muy importante, ya que le permite al usuario tener una experiencia semejante a un recorrido en vida real, puesto que a través de su recorrido tendrá la posibilidad de conocer cada dispositivo médico mediante una interfaz y cada área de este servicio hospitalario mediante audios.

Cerrar y abrir puertas: Unity ofrece la creación de *scripts* los cuales hacen sus conexiones con el funcionamiento dentro de Unity; la creación de un script permite al usuario poder interactuar con todas las puertas que contiene el ambiente, las cuales se pueden abrir y cerrar presionando la tecla “F”, estas contienen un audio al momento ser abiertas y otro audio al cerrarlas, el usuario podrá interactuar con ellas en cualquier momento deseado.

Figura 30: Acción del usuario al abrir una puerta.



Fuente: Propia

Interacción dispositivos médicos: Se creó un código para la interacción del personaje virtual en primera persona y los equipos médicos, para tener información de la guía rápida de cada dispositivo médico.

Colisión primera persona dispositivo médico: La creación de esta interacción comienza añadiendo un Box Collider al dispositivo médico, el cual permite detectar cuando el usuario en primera persona está lo suficientemente cerca a este, al entrar en contacto con el dispositivo médico le aparecerá un mensaje en la pantalla, el cual indicará que debe

presionar la tecla “X” del teclado para interactuar con este, como se muestra en la figura 31.

Figura 31: Interacción del usuario con un dispositivo médico.

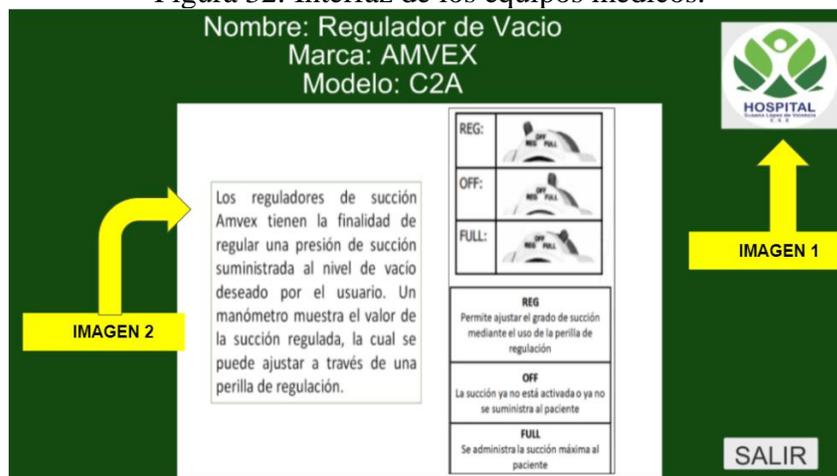


Fuente: Propia

Interfaz del dispositivo médico: Unity ofrece una herramienta llamada UI, la cual permite la creación de interfaces de usuario, al igual cuenta con unos componentes adicionales que fueron utilizados en el proyecto como lo son: canvas (área donde todos los elementos UI deben estar y cuenta como ajuste para renderizar el espacio de la pantalla) texto en formato 3D, botón (diseñado para iniciar una acción cuando el usuario hace click y lo suelta), imagen la cual puede ser cambiada implementando una deseada. La implementación de la interfaz cuenta con un texto, el cual contiene el nombre del dispositivo médico, su marca y su modelo, al igual contiene un botón de “SALIR” el cual le permite al usuario salirse de la interface y seguir con su recorrido sin ser afectado, se implementaron dos imágenes, la Imagen 1 es del logo del hospital Susana López de Valencia y la Imagen 2 es donde se encuentra la guía rápida (manual resumido el cual especifica el correcto uso del dispositivo médico) del equipo y cuenta con la posibilidad de cambiar la imagen de la guía rápida

pulsando la tecla “P” del teclado para pasar a la derecha y la tecla “O” para pasar a la imagen de la izquierda, en la figura 32 se puede observar la interfaz de las guías rápidas implementadas en los equipos médicos.

Figura 32: Interfaz de los equipos médicos.



Fuente: Propia.

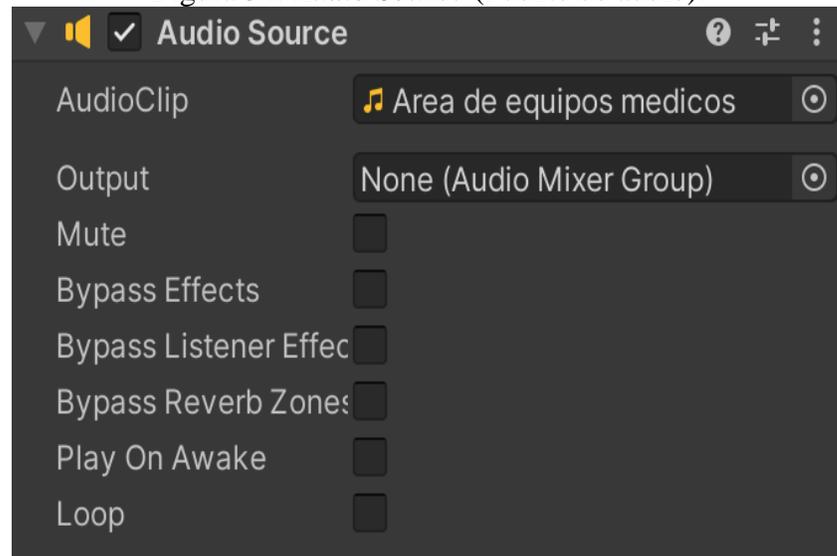
Interactividad de dotación e infraestructura: Unity cuenta con una herramienta llamada animación la cual permite que un objeto seleccionado pueda tener una animación establecida en un intervalo de tiempo, esta se agrega con el fin de llamar la atención del usuario. Con esta herramienta se generaron diferentes cubos animados los cuales contienen una interfaz con información de la infraestructura hospitalaria basada en la resolución 3100 del 2019.

Figura 33: Cubos animados con información de la infraestructura.



Fuente: Propia

Audios informativos: Para la creación de los audios informativos se agregó una herramienta incorporada en Unity llamada *Audio Source*, la cual reproduce un audio agregado a la escena, es necesario grabar un audio en formato mp3 para poder agregarlo al audio source de Unity, los audios incorporados a esta escena reproducen información del área de servicio en la que se encuentre el usuario, una vez agregado el audio se inserta en el código creado, cuando el usuario entre en contacto con alguno de los audios incorporados le aparecerá un letrero en la pantalla que le indica que pulse la tecla “Z” del teclado para poder reproducirlo, si el usuario desea puede volver a presionar la tecla mencionada y el audio se detendrá.

Figura 34: *Audio Source* (Fuente de audio).

Fuente: Propia.

Figura 35: Interacción del usuario al acercarse a un audio.



Fuente: Propia.

7. Resultados

En la presente sección se exponen ya estructurados los diferentes modelos en 3D de infraestructura y dotación, los cuales cumplen con los objetivos propuestos, donde se evidencia fielmente la similitud con los modelos reales de la UCI de la institución acreditada HSLV, junto a esto los resultados estadísticos en cuanto a la aprobación del personal de ingeniería clínica con respecto a la invención desarrollada.

- **Infraestructura**

En el estándar de infraestructura el ambiente virtual cumple con las áreas, ambientes, edificaciones, estándares mínimos e indispensables que requiere la resolución actual vigente para la prestación del servicio con el menor riesgo posible. Se adaptaron ayudas interactivas en los cubículos y al final del recorrido, con el fin de capacitar al usuario sobre información del estándar de infraestructura como lo estipula la resolución actual vigente del SUH, al igual se incorporaron audios en diferentes áreas del servicio, describiendo la funcionalidad de cada una de ellas para que el usuario tenga una experiencia realista y completa al recorrer este ambiente.

Figura 36: Plano 3D del servicio UCI - Plano 2D del servicio UCI.



Fuente: Propia - HSLV.

En cuanto al modelado y diseño de la dotación hospitalaria se pudo lograr los aspectos físicos reales, como se muestra en la figura 37 se replicó cada elemento que componen el dispositivo médico como lo son los botones, soportes, bases, etc. A continuación, se muestra en la parte derecha de las figuras el modelo en 3D creado en blender y a su lado el diseño real.

- **Dotación**

Con respecto al componente de dotación médica, se modelaron un total de 22 equipos, para la implementación y recreación de un modelado tridimensional se tomaron varias fotografías desde diferentes ángulos a cada uno de estos equipos, posteriormente por medio de herramientas como aplicación de colores, texturas, subdivisión de superficies, biselación de esquinas y renderización con las que cuenta BLENDER, se pudo generar modelos 3D que cumplen fielmente con el aspecto físico de la dotación hospitalaria del HSLV, a estos

equipos 3D se les agregó una interfaz interactiva la cual contiene información como lo es marca, modelo y nombre del equipo, junto a esto descripciones detalladas del uso y funcionamiento del mismo.

Figura 37: Comparación de equipo modelado en 3D y equipos reales, ventilador mecánico marca carefusion modelo vela comprehensive.



Fuente: Propia.

Para crear un efecto más realista en cuanto a la percepción del equipo en realidad virtual se realizó un diseño 3D que mantenga de forma fiel, los colores originales de cada equipo real, esto a través de las diferentes herramientas que posee Blender para el reconocimiento y aplicación de colores, esto se puede apreciar en las figuras 38, 39, 40.

Figura 38: Comparación de equipo modelado en 3D y equipos reales, ventilador mecánico marca Puritan modelo Bennett 840.



Fuente: Propia.

Figura 39: Comparación de equipo modelado en 3D y equipos reales, ventilador mecánico marca Neumovent modelo Ts Tecme Graphne.



Fuente: Propia.

Figura 40: Comparación de equipo modelado en 3D y equipo real, ventilador mecánico marca Mindray modelo sv300.



Fuente: Propia.

Se aplicó por medio de herramientas con las que cuenta el software de *blender* distintas texturas en los diferentes componentes de cada equipo, como lo son texturas plásticas en la parte exterior, texturas de vidrio para dar un efecto cristalino y texturas metálicas en piezas como roscas de encaje, tornillo, etc. estas texturas combinadas con los efectos de luz que se generan en el sistema de realidad virtual generan un efecto de resplandor al usuario, este efecto se puede apreciar en la figura 41.

Figura 41: Comparación de equipo modelado en 3D y equipo real, regulador de vacío marca Amvex C2A.



Fuente: Propia.

De igual modo para hacer un efecto más realista se aplicó texto e imágenes a las pantallas de los equipos 3D para dar un efecto de un equipo encendido real como se puede ver en la figura 42.

Figura 42: Comparación de equipo modelado en 3D y equipo real, monitor de signos vitales Mindray UmeC10.



Fuente: Propia.

Figura 43: Comparación de equipo modelado en 3D y equipo real, Unidad de calentamiento, marca Warm touch nellcor WT600.



Fuente: Propia.

Los componentes de dotación e infraestructura hospitalaria no cuentan con acciones de funcionamiento, cuentan con ayudas interactivas las cuales se conforman por imágenes, textos y audios, estas definen funciones, usos e información particular tanto de dotación médica como de la infraestructura. Los resultados son positivos ya que se logra una distribución exacta y real del servicio UCI incluyendo sus componentes, así el usuario se capacitará sobre los requisitos mínimos de habilitación de un servicio con respecto al SUH.

- **Redes de gases y eléctricas**

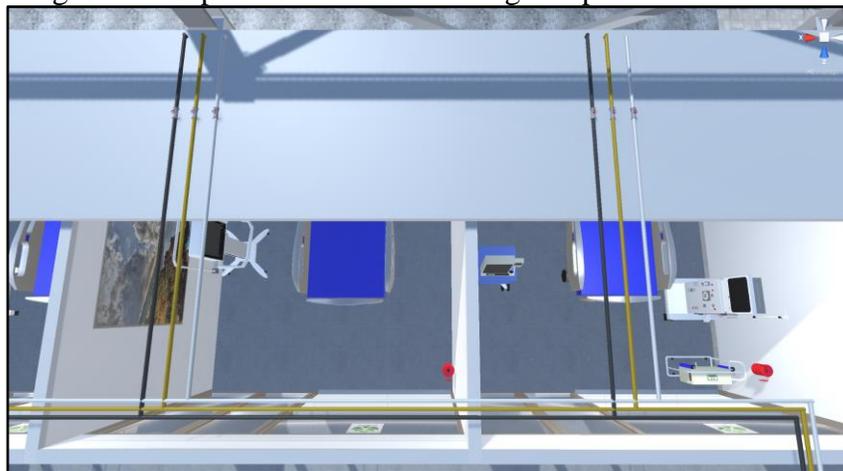
A través del modelado se preservó los diseños reales y la convención de colores de la red de gases medicinales para la unidad de cuidados intensivos. Manteniendo las convenciones reales: amarillo para aire medicinal, verde para oxígeno y blanco para vacío. Por otro lado, también se observa las acometidas para facilitar que estos suministros surtan los dispositivos médicos en cubículos y cuartos de UCI. La figura 44, muestra el paralelo de las válvulas de suministro de gases hospitalarios entre el plano 2D del HSLV y el diseño en Unity 3D.

Figura 44: Diseño en 3D alarma digital de gases en el área UCI.



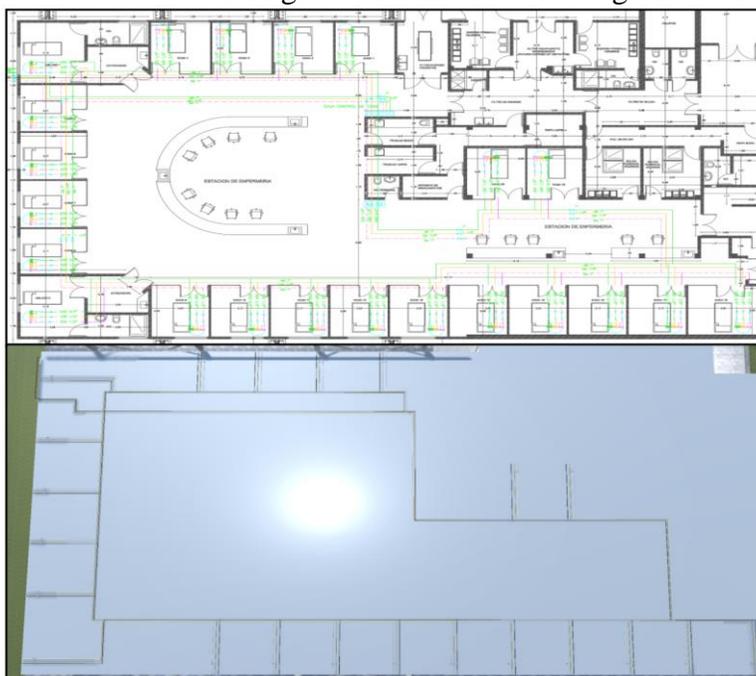
Fuente: Propia.

Figura 45: Implementación de red de gases por cubículo en 3D.



Fuente: Propia.

Figura 46: Plano 2D red de gases del HSLV - Red de gases en Unity3D.



Fuente: Propia.

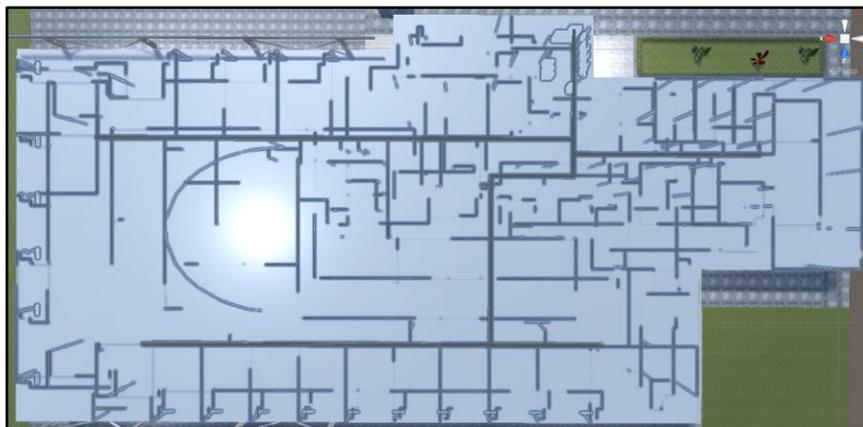
- Del HSLV, también se logró obtener los planos récord del sistema eléctrico: Planta de iluminación del sistema vital, normal y crítico, y la planta de tomas e iluminación de emergencia, en 2D del servicio de la unidad de cuidados intensivos.

Figura 47: Plano 2D planta de iluminación, paneles led, switches sencillos, sistema vital, sistema normal y sistema crítico del HSLV.



Fuente: HSLV.

Figura 48: Plano 3D planta de iluminación, paneles led, switches sencillos, sistema vital, sistema normal y sistema crítico del HSLV.



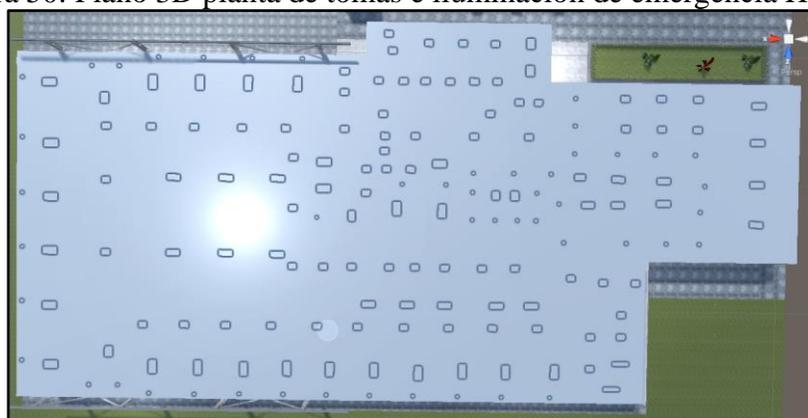
Fuente: Propia.

Figura 49: Plano 2D planta de tomas e iluminación de emergencia HSLV.



Fuente: HSLV.

Figura 50: Plano 3D planta de tomas e iluminación de emergencia HSLV.



Fuente: Propia.

La figura 51 hace una comparación de similitud de la imagen real con el diseño modelado en 3D, donde se enseñan los tableros de electricidad del servicio de la UCI.

Figura 51: Tableros de electricidad de la UCI real - modelado en 3D
tableros de electricidad de la UCI.



Fuente: Propia

Con respecto a la habilitación de los servicios de UCI que se ha implementado en el HSLV en cumplimiento de la resolución, se logró la dotación de los cubículos, ya que estos requieren un cumplimiento mínimo de dotación en cada uno como lo estipula la resolución 3100 del 2019, cada cubículo cuenta con ventilador mecánico, aire medicinal, mezclador de gases medicinales y debe de tener disponibilidad de un monitor de signos vitales. En la figura 52 se puede observar el cubículo real del servicio de la UCI del HSLV, y en la figura 53 el modelado en 3D del cubículo creado cumpliendo con los estándares mínimos de dotación

Figura 52: Cubículo del HSLV con su dotación.



Fuente: Propia.

Figura 53: Cubículo en el ambiente virtual con su dotación.

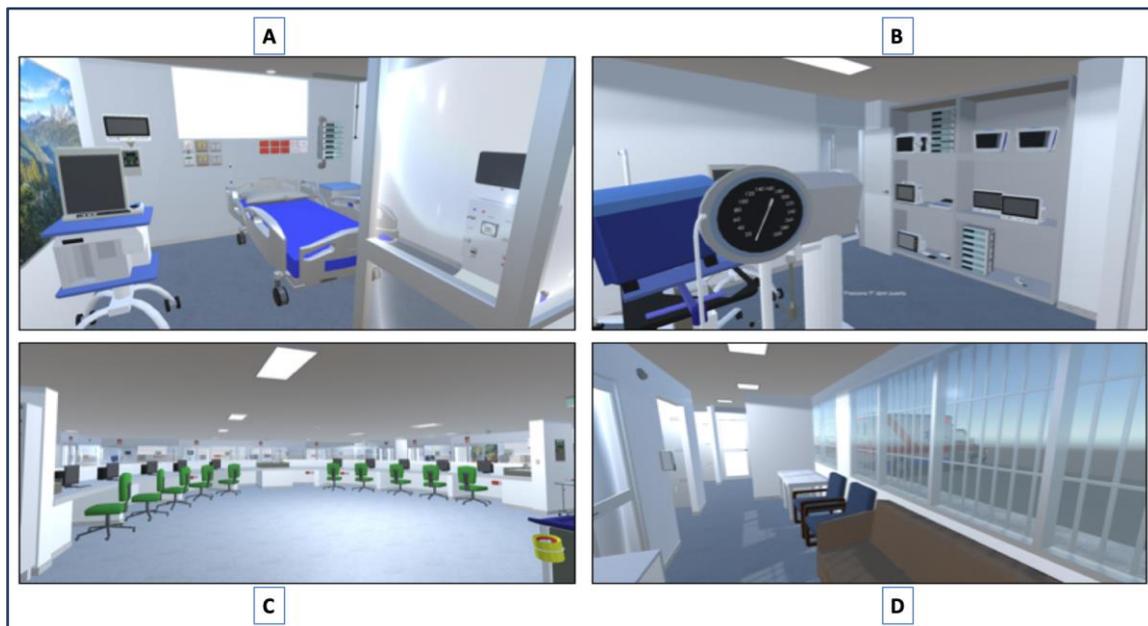


Fuente: Propia.

En la figura 54 se muestran 4 escenas del ambiente virtual, la figura A es una vista hacia un cubículo del servicio, la figura B es una vista dentro del área de equipos médicos, la

figura C es una vista hacia la estación de enfermería y la figura D es una vista en el área de descanso del personal médico.

Figura 54: 4 escenas diferentes dentro del entorno virtual.



Fuente: Propia.

La figura 55 muestra a los usuarios interactuando con la creación del sistema en 3D y su funcionamiento a través de los *oculus rift*.

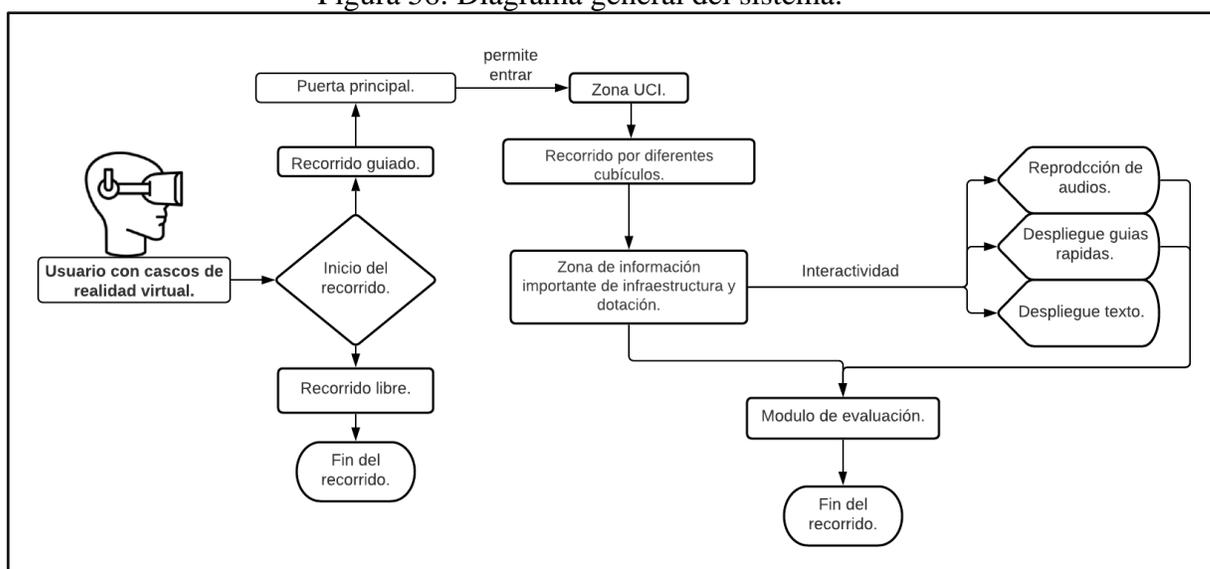
Figura 55: Usuarios navegando en el sistema creado mediante los *oculus rift*.



Fuente: Propia.

Con respecto a el funcionamiento del sistema virtual se inicia con un proceso de un recorrido guiado a través de las diferentes zonas de la UCI, el usuario a través del teclado podrá moverse e interactuar con los diferentes elementos que contienen información de valor para la asociación de conocimientos, esta interacción consta de audios, despliegue de guías y texto, estos elementos informativos estarán repartidos por todo el ambiente 3D, al finalizar el recorrido el usuario se le presenta un módulo de evaluación donde en este punto será el fin del recorrido, este proceso se puede verificar en la figura x.

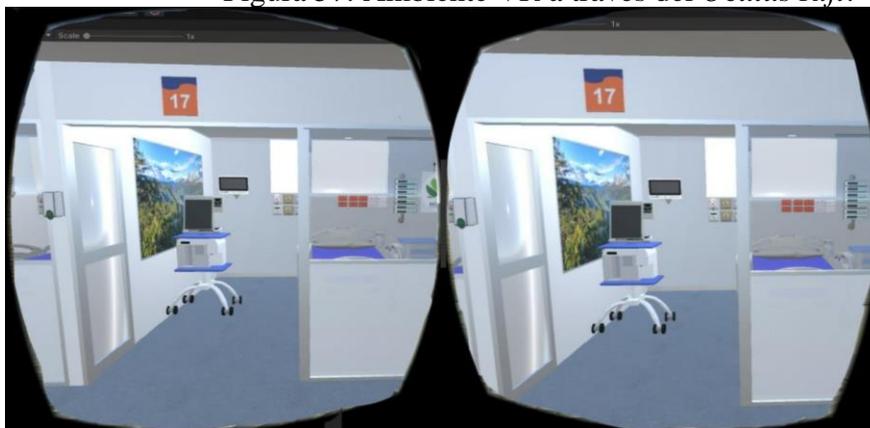
Figura 56: Diagrama general del sistema.



Fuente: Propia.

La figura 57, enseña la visualización del ambiente a través del casco *Oculus Rift*.

Figura 57: Ambiente VR a través del *Oculus Rift*.



Fuente: Propia.

Se logró la creación de un archivo ejecutable que contiene todo el ambiente hospitalario, este ejecutable que cuenta con un tamaño de 638 KB, no necesita de un software que tenga que ser instalado previamente, ni de archivos externos para su funcionamiento.

-Operar

Para el proceso de investigación y desarrollo se realizaron dos validaciones diferentes:

Primera etapa de validación

Esta etapa enmarca las propiedades técnicas de desarrollo tecnológico del ambiente virtual, este proceso fue validado por dos ingenieros expertos en ingeniería clínica, ya que ellos tienen más contacto, conocimiento y experiencia acerca del ambiente real en una clínica u hospital, los usuarios analizaron e interactuaron con el programa desarrollado, una vez terminado su recorrido mediante el ambiente se les realizó un cuestionario para captar la interactividad, inmersión, usabilidad y comodidad de la tecnología implementada, con el fin de describir los resultados obtenidos dando respuesta a los objetivos planteados. La tabla 7 muestra las preguntas realizadas a los expertos en ingeniería clínica y sus respuestas.

Tabla 7: Preguntas del cuestionario y valoraciones de los profesionales en ingeniería clínica.

Pregunta	Experto 1	Experto 2
1. En una escala del 1 al 5 (donde 1 significa muy malo, 5 muy bueno), por favor califique qué tal fue su experiencia en este proyecto con respecto a la interactividad con los diferentes elementos presentados en el mundo virtual que usted experimentó.	5	4
2. En una escala del 1 al 5 (donde 1 significa muy malo, 5 muy bueno), por favor califique qué tal fue su	5	4

experiencia en este proyecto con respecto a la inmersión, que usted experimentó con respecto a su sensación dentro del mundo virtual.		
3. En una escala del 1 al 5 (donde 1 significa muy malo, 5 muy bueno), por favor califique qué tal fue su experiencia en este proyecto con respecto a la usabilidad, con respecto a que tal fue su interacción con el sistema desarrollado.	5	5
4. En una escala del 1 al 5 (donde 1 significa muy malo, 5 muy bueno), por favor califique qué tal fue su experiencia en este proyecto con respecto a la comodidad, que usted experimentó.	5	4

La interactividad en este desarrollo la estamos viendo en la apertura de las puertas, en el sonido de los audios incorporados, en el tacto con los equipos médicos, en el desplazamiento de las áreas y en la interacción con los servicios, se evidencia que el desarrollo de la UCI tiene una interactividad alta con el usuario ya que se renderizó y se modeló el sistema de una manera adecuada.

La inmersión obtuvo resultados de 4,5, esto refleja que el sistema cuenta con libertad de movimiento al usar las teclas del ordenador o los controladores de los oculus, ya que permite un libre movimiento al usuario en cualquier dirección, sumado a esto la autonomía del usuario para mirar en cualquier dirección, mediante el uso del *ratón* del ordenador o los cascos del oculus rift.

La usabilidad generó un resultado perfecto, lo cual demuestra que el sistema cuenta con una gran facilidad de uso para los usuarios.

La comodidad en el sistema tuvo una calificación de 4,5, esto se debe a que presenta características físicas y emocionales positivas, ya que el ambiente posee propiedades

audiovisuales como lo son: imágenes, colores, texturas, sonidos e iluminación, que no generan fatiga visual y auditiva para el usuario.

La experiencia en los usuarios a través de la validación ha permitido llegar a los sentidos de los usuarios, permitiéndoles fortalecer la inmersión y la interactividad para ampliar el aprendizaje en el campo hospitalario, haciéndoles simular que están en un ambiente real de una UCI de un hospital acreditado, porque presenta componentes de infraestructura y dotación, al igual características de ellos, calificándolo así como una herramienta novedosa. En la figura 58 se observa la ingeniería clínica usando el sistema creado.

Figura 58: Ingeniera clínica usando el sistema a través de un ordenador.



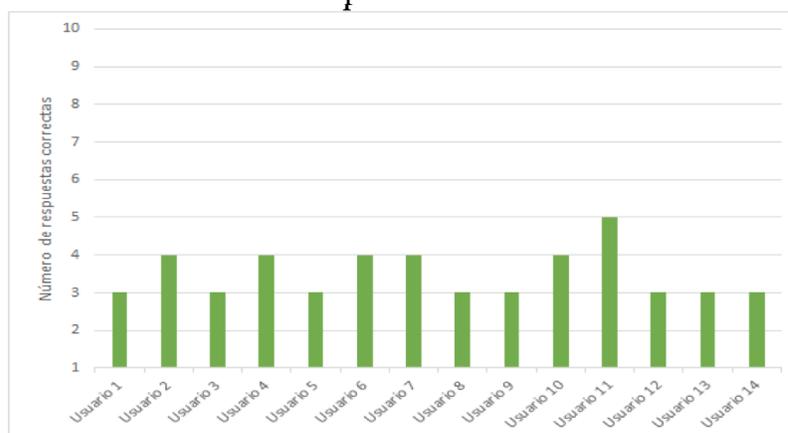
Fuente: Propia.

Segunda etapa de validación

La segunda etapa se basa en validar el aprendizaje que el sistema aporta al usuario, para su desarrollo se realizaron 2 estudios diferentes, el primer estudio consistió en evaluar a 14 usuarios, entre ellos 10 son ingenieros clínicos y 4 son estudiantes de ingeniería biomédica, los cuales no tuvieron contacto con el sistema desarrollado, en el segundo estudio, se les pidió a 14 usuarios diferentes que probaran e interactuaran con el ambiente virtual creado, a los 2 grupos se les pidió que realizaran un formato de evaluación a través de un formulario creado con diez preguntas basadas en la resolución 3100 del 2019.

- En el primer grupo se buscó evaluar sus conocimientos adquiridos mediante su formación ingenieril, al igual, tuvieron la oportunidad de leer resolución actual vigente, el gráfico de la figura 59 se puede observar los resultados de los usuarios que no tuvieron contacto con el sistema. Se aclara que no se incluyeron profesionales en otras áreas porque el desarrollo de este proyecto busca entrenar al estudiante o profesional en ingeniería biomédica.

Figura 59: Resultados de ingenieros biomédicos que no probaron el sistema implementado.

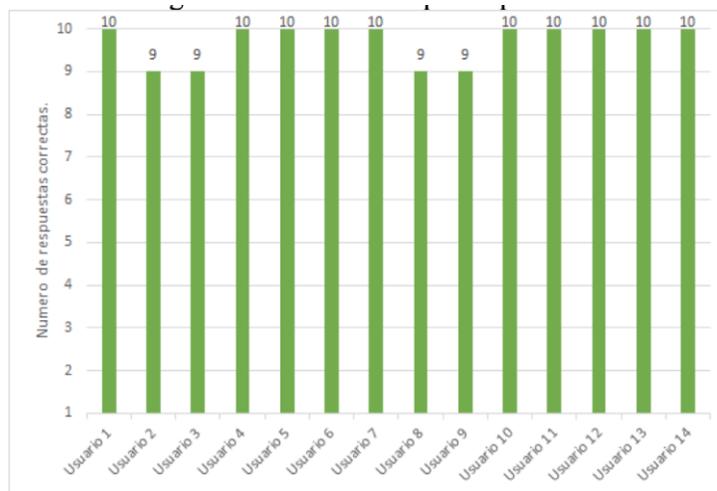


Fuente: Propia.

Del gráfico de la figura 59 se puede evidenciar cómo los ingenieros biomédicos que no usaron el sistema implementado obtuvieron resultados muy deficientes en sus pruebas, esto se debe a que hay una falta de aprendizaje desde su formación profesional con respecto a la resolución actual vigente, ya que el mayor puntaje solo alcanza un total de la mitad de las respuestas correctas.

- El segundo grupo, que probó e interactuó con el ambiente virtual demostró cómo el sistema de realidad virtual creado ayuda en el entrenamiento y la adquisición de conocimientos, tanto de un servicio hospitalario como de la resolución 3100 del 2019. Las respuestas de los 14 usuarios fueron positivas debido a la amplia información que incorpora el sistema como lo indica la figura 60.

Figura 60: Resultados de ingenieros biomédicos que emplearon el sistema implementado.

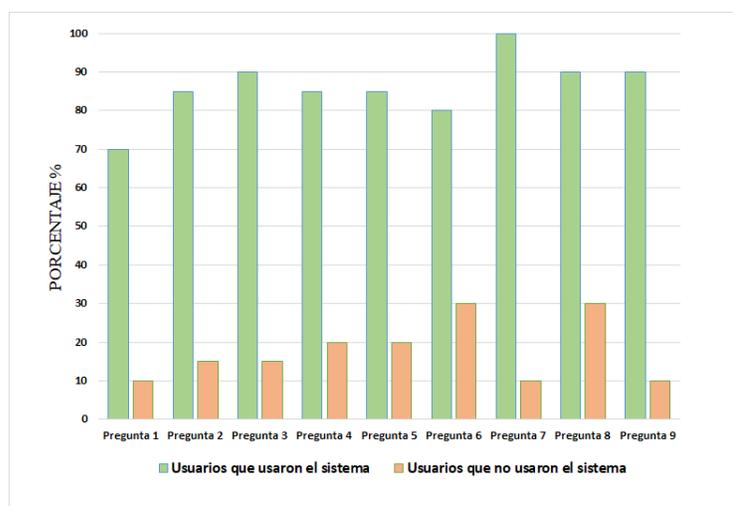


Fuente: Propia.

Se demuestra de la figura 60, los usuarios que probaron el sistema desarrollado tuvieron un aprendizaje muy positivo, ya que el ambiente creado cumplió con el objetivo de entrenar y capacitar al ingeniero.

Se logró la construcción de un ambiente accesible e interactuable para el usuario, lo cual resulta amigable y cómodo para afianzar sus conocimientos. En la figura 61 podemos ver cómo los usuarios que usaron el sistema de realidad virtual obtuvieron un porcentaje del 86% de preguntas totales correctas, mientras que el grupo que NO uso la tecnología obtuvo un porcentaje del 18% de preguntas totales correctas, se puede concluir que el sistema expuesto es una herramienta de gran apoyo en la parte educativa.

Figura 61: Comparación de los dos estudios realizados.



Fuente: Propia.

Se realizó un análisis estadístico con las preguntas acertadas y erradas del grupo de usuarios que probaron el sistema, los resultados obtenidos de cada pregunta del formulario respondida por los usuarios se presentan en la tabla 8, y el porcentaje estadístico se refleja en la figura 63.

Tabla 8: Preguntas del formulario realizadas y respuestas de los usuarios que probaron el sistema.

Pregunta	Usuarios que acertaron	Usuarios que fallaron
----------	------------------------	-----------------------

1. ¿Qué es la Resolución 3100 del 2019?	10	4
2. ¿Cuáles son las medidas mínimas con las que debe contar cada cubículo de la UCI según la resolución 3100 del 2019?	12	2
3. ¿Según la resolución 3100 del 2019 cada cubículo debe contar con salidas de oxígeno medicinal y tomas de vacío?	13	1
4. Según la resolución 3100 del 2019 Cada cubículo del servicio de UCI Adultos cuenta con:	12	2
5. Según la RESOLUCIÓN 3100 DEL 2019 el servicio de UCI adultos debe tener disponibilidad de:	12	2
6. ¿El servicio de UCI cuenta con cuartos aislados y antecámaras?	11	3
7. La resolución 3100 del 2019 cuenta con diferentes dotaciones de infraestructura, una de estas es la estación de enfermería ¿usted pudo identificar la estación de enfermería en su recorrido?	14	0
8. ¿Cada cubículo debe contar mínimo con un ventilador mecánico?	13	1
9. ¿Este cubículo cuenta con los estándares de dotación establecidos en la resolución 3100 del 2019? ¿Por qué?	13	1

La pregunta número 9 de la tabla 8 contiene una imagen de referencia la cual se puede apreciar en la figura 62.

Figura 62: Imagen de referencia de la pregunta número 9.

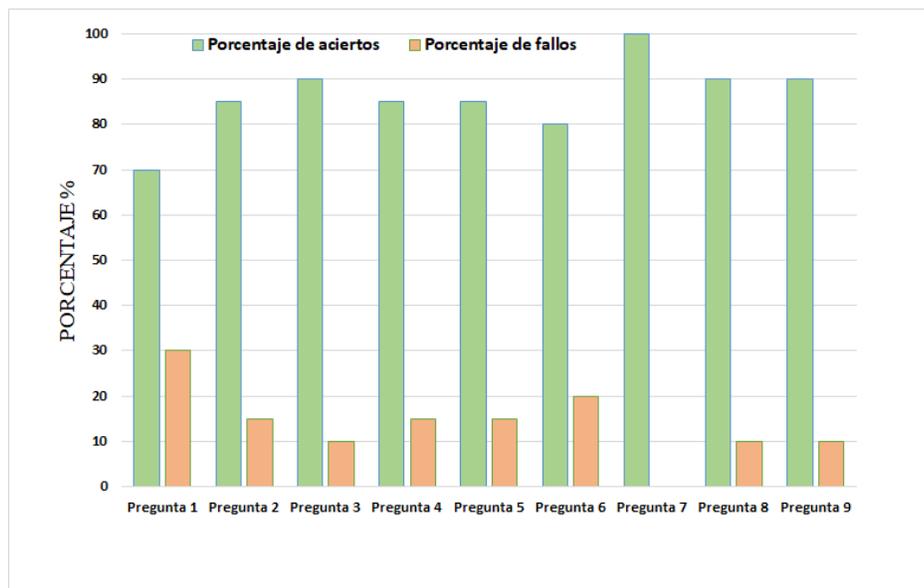


Fuente: Propia.

La pregunta número 1, el 70% de las respuestas fueron contestadas afirmativamente y el 30% respuestas negativamente, lo cual indica que el ambiente define la resolución 3100 del 2019, la pregunta número 2 tuvo un porcentaje del 85% de aciertos y un 15% de respuestas erradas, se refleja que los usuarios adquieren conocimiento de las medidas mínimas con las que debe contar cada cubículo de la UCI, en la pregunta número 3, el 90% de las respuestas fueron contestadas afirmativamente y el 10% respuestas negativamente, la información interactiva implementada en la red de gases tiene una alta referencia en los usuarios, la pregunta número 4 y 5 obtuvieron un porcentaje de 85% de respuestas acertadas y un 15% de respuestas erradas, se evidencia que el sistema capacita a los usuarios sobre la dotación mínima que debe cumplir el servicio de la unidad de cuidados intensivos, en cuanto a la pregunta número 6 el 80% de encuestados acertó y el 20% tuvo errores, esto se debe a que cada área del servicio cuenta con respectiva etiqueta, la pregunta número 7 tuvo un porcentaje perfecto del 100%, debido a que la implementación de audios informativos apoya al usuario a su recorrido y aprendizaje, la pregunta número 8 y 9 obtuvieron un porcentaje de 90% de preguntas acertadas y 10% de preguntas erradas, el

ambiente virtual mediante apoyo interactivo capacita a los usuarios sobre la infraestructura que la UCI.

Figura 63: Comparación de porcentajes de preguntas acertadas y erradas.



Fuente: Propia.

El desarrollo logra conectar a los usuarios en un servicio hospitalario creado mediante un ordenador, lo cual permite una inmersión auditiva y visual que le garantiza al usuario que apropie la información incorporada en el ambiente virtual.

○ 7.1. Trabajos futuros

Los resultados desarrollados en este proyecto de grado son una base elemental para que nuevas invenciones de los ingenieros biomédicos encuentren complementar el ambiente hospitalario virtual creado, con el fin de alcanzar a construir todos los estándares de la resolución para el servicio de UCI, al igual que incluir las demás unidades de cuidados, es decir, unidad de cuidados intensivos neonatal y la unidad de cuidados intensivos pediátrica.

Para la continuación de este servicio ya construido, es posible continuar mejorándolo, realizando un nuevo ejecutable para el uso en dispositivos móviles, tabletas o consolas de videojuegos, así mismo, se puede implementar equipos médicos que tengan una funcionalidad completa al interactuar con cada uno, de esta manera se refuerza el aprendizaje del ingeniero biomédico ya que podrá manipular los dispositivos médicos y adquirir un mayor conocimiento de estos.

Para complementar aún más el entrenamiento de los estudiantes o ingenieros biomédicos que están adaptados con los entornos hospitalarios, este trabajo se podría plantear en el apoyo de aprendizaje a mantenimientos correctivos y preventivos de los equipos médicos más complejos, es decir, equipos que sean difíciles de acceder a ellos en una clínica u hospital o que el estudiante no va a poder manipular totalmente durante su formación.

Las resoluciones actuales que rigen el servicio de hospitales y clínicas están en constantes renovaciones o cambios, lo cual propone que el ambiente creado también sea actualizado al igual que las actualizaciones de las normativas, junto a esto se plantea la posibilidad de seguir desarrollando ambientes virtuales de los diferentes servicios.

8. Conclusiones

En el presente trabajo se logró el desarrollo e implementación de un ambiente de realidad virtual de una unidad de cuidados intensivos, por medio de diferentes escenarios modelados con respecto a infraestructura y dotación, donde se logró un total de 22 modelos de equipos médicos los cuales se ubican por el ambiente, modelando un total de 108 equipos en 3D, sumado a esto los diferentes aspectos que conforman la infraestructura de la UCI con un total de 9 áreas, 20 cubículos para pacientes, 10 baños, 2 estaciones de enfermería y cuartos aislados, siguiendo fielmente las medidas plasmadas en los planos arquitectónicos reales, de este modo se consolidó un *software* ejecutable el cual contiene un ambiente de realidad virtual que cuenta con herramientas de apoyo interactivo como imágenes, textos y archivos de audio los cuales se despliegan en el momento que el usuario interactúe con los diferentes componentes animados que posee el proyecto desarrollado.

Mediante la realización de este proyecto se logró la apropiación de conocimientos del servicio hospitalario de la unidad de cuidados intensivos, ya que se logró identificar las normativas que habilitan este servicio, al igual, se afianzaron los conocimientos de dotación e infraestructura como lo son medidas estructurales, áreas del servicio, redes de potencia, redes de gases y disponibilidad de equipos médicos.

En el desarrollo del trabajo, se logró identificar diferentes tecnologías que hoy en día pueden ser utilizadas dentro de métodos de entrenamiento y aprendizaje, ya que logran aspectos de realidad virtual como lo son la inmersión, interactividad y usabilidad, esto con el fin de lograr una apropiación adecuada de diferentes conocimientos complejos en el proceso educativo del ingeniero.

Se logró la creación e implementación de un ambiente en realidad virtual para el entrenamiento del personal de ingeniería clínica, en este ambiente se aplicó los conceptos en servicios hospitalarios basados en las normas de habilitación única en salud.

En cuanto al modelado 3D de dotación e infraestructura hospitalaria, por medio de técnicas y herramientas de renderizado se logró la creación de los diferentes equipos médicos, así como los diferentes escenarios que conforman la unidad de cuidados intensivos, logrando un efecto fotorrealista para el usuario, a su vez manteniendo una fidelidad en cuanto a los diseños reales de cada elemento presente en la UCI.

Se desarrolló e implementó un ambiente de realidad virtual amigable y de fácil manejo para el usuario, el personal que utilizó esta innovación tecnológica encontró un software de fácil uso, que cuenta con diferentes elementos pedagógicos como lo es un manual de usuario completo y preciso en la instrucción de usuarios nuevos, además de imágenes y audios que complementan el entrenamiento en cuanto a los temas propuestos en el proyecto.

El usuario final puede realizar el recorrido y estudio de dotación e infraestructura en el área de UCI, tanto con el uso de realidad virtual a través del oculus rift como con el manejo del teclado y ratón, ya que el sistema presenta un funcionamiento versátil tanto en el uso de herramientas de RV como para el uso común de un computador.

A comparación de un recorrido real al servicio de la UCI, no es posible ver a simple vista las redes eléctricas y de gases. El ambiente virtual desarrollado permite ver a detalle estas redes, su ubicación, conexión, origen, interruptores, tomas y demás. Afianzado el

entrenamiento de los ingenieros clínicos en un aspecto adicional al de dotación de equipos médicos e infraestructura, que es la implementación del sistema de redes en el servicio de la unidad de cuidados intensivos y su instalación física en el medio de la estructura.

Los usuarios que interactuaron y probaron este ambiente de realidad virtual, que se divide tanto estudiantes como profesionales de ingeniería biomédica y que además laboran en disciplinas clínicas, llegaron a una conclusión que es un sistema eficaz y útil para apoyar el aprendizaje y entrenamiento del ingeniero clínico, además aumenta la experiencia y el conocimiento de los estudiantes biomédicos. Al igual potencia el entrenamiento de los ingenieros biomédicos que se desempeñan en el mantenimiento de los equipos y se desenvuelven en el ámbito hospitalario, en los resultados de la prueba de conocimiento el 100% de los usuarios potenciaron sus conocimientos al interactuar en el servicio de la unidad de cuidados intensivos adultos.

Este trabajo de grado logró su radicado de patente bajo la constancia de radicación de ID259 con apoyo del ministerio de salud y la superintendencia de industria y comercio de Colombia.

9. Anexos

○ 9.1. Patente

Este trabajo de grado que se ha desarrollado hace referencia a un sistema de Realidad Virtual (RV) para el entrenamiento de personal en ingeniería clínica y hospitalaria, entre otros, mediante el despliegue visual de un ambiente virtual de navegación basado en un entorno hospitalario, específicamente una unidad de cuidados intensivos (UCI) y una Unidad de Cuidados Intermedios (UCIM), representada a través de imágenes tridimensionales de alta calidad, renderizadas, que logran simular un espacio físico con los detalles arquitectónicos, distribución de sistemas eléctricos, hidráulicos, sanitarios y de gases medicinales, los cuales hacen parte del servicio de salud y de igual manera la dotación biomédica y de apoyo; este proyecto de grado se radicó como patente, a continuación, el reporte detallado de este y en la figura 64:

Número de Patente (11): NC2021/0014183

Fecha de radicación: 22 oct. 2021

Referencia de solicitante: ID259

Estado de la solicitud: Bajo Verificación de Requisitos Mínimos

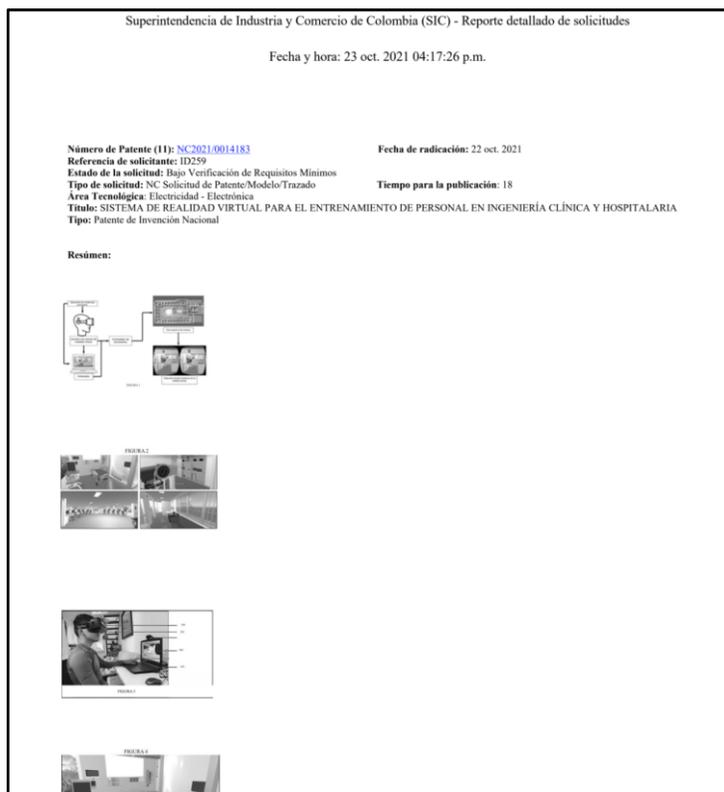
Tipo de solicitud: NC Solicitud de Patente/Modelo/Trazado

Área Tecnológica: Electricidad - Electrónica

Título: SISTEMA DE REALIDAD VIRTUAL PARA EL ENTRENAMIENTO DE PERSONAL EN INGENIERÍA CLÍNICA Y HOSPITALARIA

Tipo: Patente de Invención Nacional

Figura 64: Reporte detallado de la solicitud de patente.



Fuente: Superintendencia de Industria y Comercio de Colombia (SIC).

○ 9.2. Manual de usuario

Un factor clave radica en el manual de usuario, este manual es un documento de tipo técnico que se crea con el fin de brindar asistencia y ayuda a los usuarios que van a usar el sistema de realidad virtual, este manual de usuario cuenta con una explicación detallada que cuenta con texto e imágenes de cómo usar e instalar las diferentes partes del proyecto como se puede ver en la figura 65, tanto software como hardware, del mismo modo cuenta con advertencias para su correcto uso y así evitar problemas al momento de usar e instalar el dispositivo.

Figura 65: Manual de usuario.



Fuente: Propia.

○ 9.3 Descarga e instalación del software

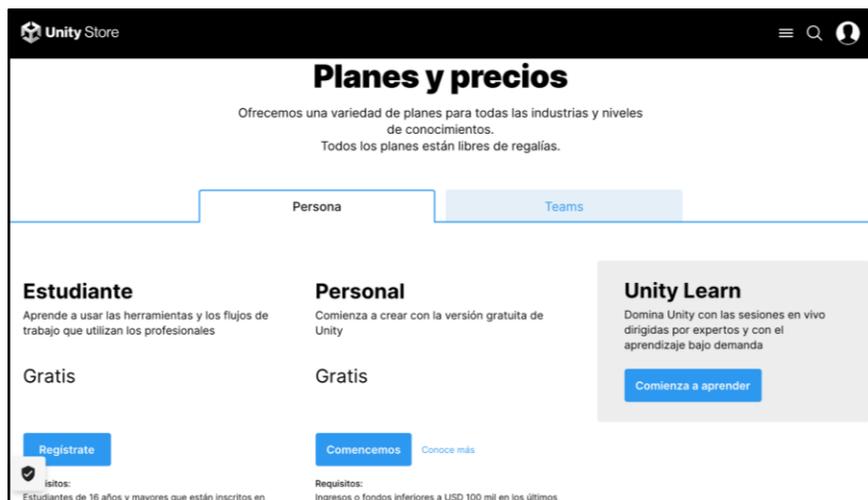
Desde la página oficial de Unity: <https://unity3d.com/es/get-unity/download>, es posible descargar el software para iniciar el modelado 3D. En la figura 66, se observa cómo acceder para descargar Unity, es posible descargar versiones pagas dependiendo del uso. Unity también tiene la opción de versión gratis, las cuales es posible acceder con una cuenta institucional y con un correo del mismo dominio como se puede ver en la figura 64.

Figura 66: Interfaz de descarga de la página de Unity.



Fuente: Unity.

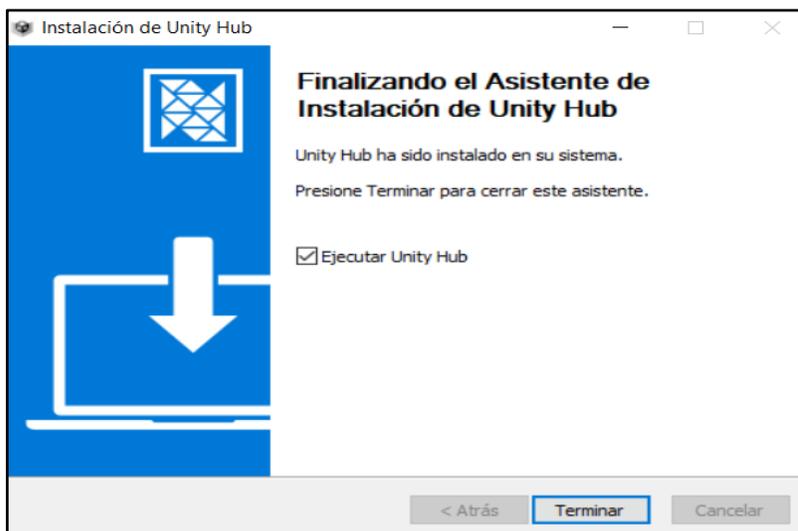
Figura 67: Versiones de descarga de Unity.



Fuente: Unity.

Una vez descargado el software, abrir el asistente de descarga de Unity 3D para seleccionar las herramientas que se desean instalar, se siguen los pasos hasta finalizar el procedimiento de instalación.

Figura 68: Instalación finalizada en el equipo ejecutado.



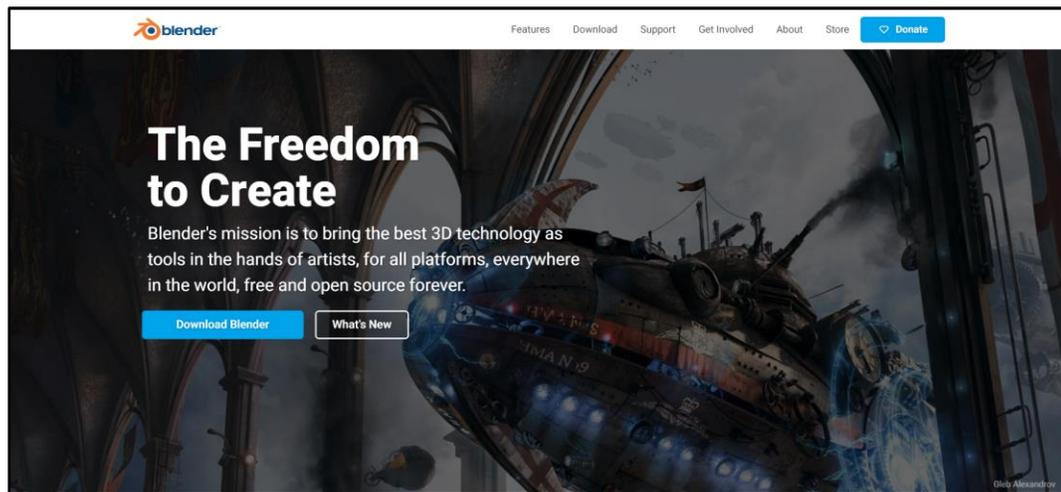
Fuente: Propia.

○ 9.4 Manual para uso Blender

- Descarga e instalación del software Blender.

Accediendo al portal web de blender se puede iniciar la descarga de este software, como se puede ver en la figura 69, blender es un software gratuito por lo tanto solo se tiene que descargar el instalador.

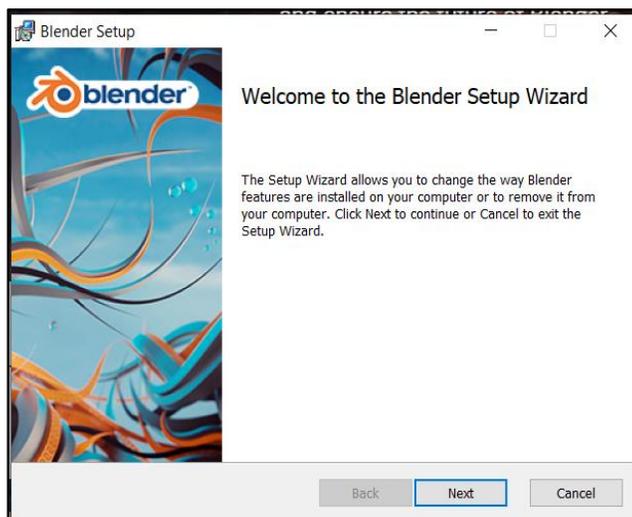
Figura 69: Interfaz de descarga de la página de Blender.



Fuente: Propia.

Una vez descargado el *software*, abrir el asistente de descarga de Blender3D para instalar el software, posteriormente se siguen los pasos hasta finalizar el procedimiento de instalación.

Figura 70: Instalación en el equipo ejecutado.

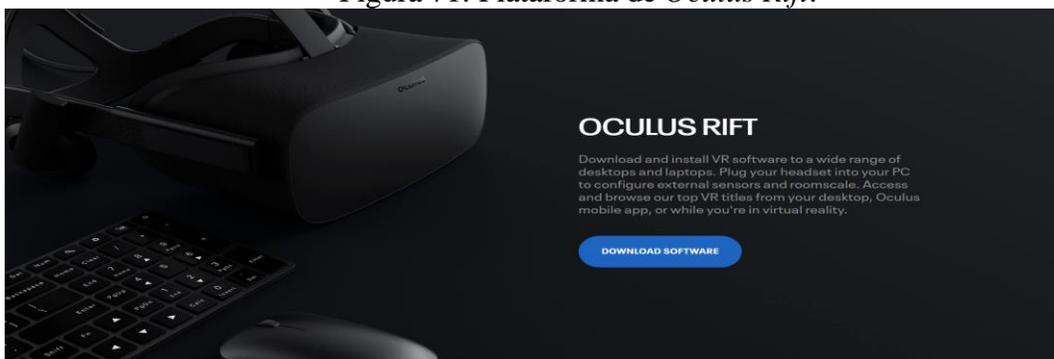


Fuente: Propia.

○ 9.5 Instalación del software Oculus.

Para configurar *Oculus Rift*, debe descargar la aplicación *Oculus* en el ordenador, antes de instalar la aplicación de *Oculus*, se tiene que verificar que se tiene al menos 4 GB de espacio libre en el disco duro, cuando instalas la aplicación de *Oculus* en el ordenador, esta se instala en la unidad C del PC, Para descargar e instalar la aplicación de *Oculus* en el ordenador se debe acceder a la página oficial de *Oculus*: www.oculus.com/setup, donde se tendrá el respectivo link de descarga como se puede ver en la figura 71:

Figura 71: Plataforma de *Oculus Rift*.



Fuente: *Oculus Web*.

<https://www.oculus.com/setup/>

○ 9.6 Vigilancia tecnológica

A través de una vigilancia tecnológica se realizó una búsqueda en patentes, esto con el fin de identificar las anterioridades y el estado de la técnica en cuanto a la invención, esta vigilancia se realizó usando ecuaciones de búsqueda con palabras claves como: “Realidad virtual, aumentada, ambiente hospitalario y tecnología en salud, hospital virtual” el resultado arrojó un total de 217 patentes de las cuales se filtraron las más relevantes.

Patentes

- **Instrumentos seleccionables con dispositivos para simulación médica háptica de realidad virtual, ID: US6113395A**

La invención hace referencia a un dispositivo usado para elegir diferentes elementos a través simulaciones médicas virtuales, esto se logra con dispositivos de entrada accionados por el usuario, estos elementos se asemejan a instrumentos médicos, los cuales transmiten una cantidad de datos de identificación hacia el modelo virtual de computadora desde los instrumentos seleccionados.

- **Aparato de entrenamiento y demostración médica de realidad virtual portátil, ID:US2006084050A1**

Esta invención se refiere a un dispositivo de entrenamiento médico que presenta un entorno virtual a un usuario y le permite interactuar con este. El dispositivo de entrenamiento cuenta con una base y una interfaz. La base tiene un dispositivo de almacenamiento y una unidad central de procesamiento. La interfaz puede proporcionar retroalimentación háptica en respuesta a la interacción entre el usuario y el entorno virtual.

- **M Método y aparato de interfaz de simulación médica, ID: US8007282B2**

La invención hace referencia a un método y sistema virtual el cual sirve para proporcionar un dispositivo que sirve para el entrenamiento quirúrgico que comprende una pluralidad de interfaces mecánicas, esta invención es un sistema de realidad virtual para el aprendizaje.

- **Hospital virtual, gestión correcta, ID: US20060004555**

La tecnología, también llamada “VHospital” es un sistema digital basado en un software computacional que simula el funcionamiento de un hospital real de forma virtual. El propósito es servir como una herramienta de desarrollo y capacitación en administración para ejecutivos de hospitales y capacitación médica.

- **Simulación híbrida de realidad físico-virtual para el entrenamiento clínico capaz de proporcionar retroalimentación a un modelo físico anatómico, ID: US2016203737A1**

La presente invención describe un sistema y método que usa simulación de realidad mixta para promover el entrenamiento en procedimientos clínicos. Tal sistema puede incluir un modelo físico y un modelo virtual de una región anatómica asociada con la cirugía, donde el modelo virtual asocia tipos de tejido con ubicaciones en el modelo físico.

Artículos Científicos

- **La realidad virtual como herramienta de formación en una simulación hospitalaria**

En este artículo se presenta un método mediante el cual se pueden desarrollar los resultados de la simulación generada de un modelo lógico 3D utilizando técnicas de RV, de tal manera que el modelo se pueda usar como herramienta de formación.

- **Sistema de navegación quirúrgica mediante imágenes diagnósticas digitales visualizadas por realidad aumentada**

La presente invención se aplica al sector de Biomédica, específicamente con el desarrollo de nuevos instrumentos, dispositivos y/o métodos para realizar exámenes médicos, con el objetivo de detectar, medir o emitir diagnósticos, antes o durante un procedimiento quirúrgico. Así mismo hace referencia al procesamiento de datos digitales, en donde existan disposiciones de entrada y/o salida para la transferencia de datos y procesamiento de éstos, de manera que puedan ser analizados por un dispositivo.

- **Realidad virtual en educación superior: una experiencia con estudiantes de medicina: investigación sobre cómo la realidad virtual se puede utilizar como una herramienta de capacitación poderosa para estudiantes de medicina**

En este proyecto se presenta una exploración del uso de las herramientas de Realidad Virtual aplicadas a la educación superior. Se utilizó una plataforma de Realidad Virtual llamada "Medical Studium". Se aplicaron pruebas y cuestionarios enfocados en una interacción con contenido virtual e inmersivo, con la posibilidad de reproducir una lección tantas veces como lo necesiten. Los hallazgos sugieren que un cambio tanto en la enseñanza como en el aprendizaje pueden suponer una mejora para los estudiantes en su formación práctica.

- **La realidad virtual como herramienta de formación en una simulación hospitalaria**

En este artículo se presenta un método mediante el cual se pueden desarrollar los resultados de la simulación generada de un modelo lógico 3D utilizando técnicas de RV, de tal manera que el modelo se pueda usar como herramienta de formación. El modelo contiene componentes que el usuario puede utilizar para observar sus dinámicas de manera sencilla y operativa.

10. Referencias Bibliográficas

Richard Ngu Leubou. Impact de la réalité virtuelle sur la formation à distance. Synthèse d'image et réalité virtuelle [cs.GR]. Université de Limoges, 2021. Français.

Corporación Ruta N (2016). Observatorio CT+i: Informe No. 1 Área de oportunidad Realidad Virtual y Realidad Aumentada. Recuperado desde www.brainbookn.com patentes

Gomez, A. Jimenez, D.E. Campos, M.A. (2018). *Sistema de navegación quirúrgica mediante imágenes diagnósticas digitales visualizadas*. CO2016148897A1: Colombia: DME3D SAS

Xiaolong, Y. Huang, X. Donglin, H. Ying, L. Tingning, Y. (2020) *VR helmet for immersive virtual clinical inquiry skill training*. CN111308713A. China: Changzhou Wuj.

Lui, Y. Zhaoquin, L. Jun, L. Wang, B. David, B. Charles, M. Jerry, W. Clifford, O. (2020). *Medical simulator, and medical training system and method*. WO2020047761A1. China: MENTICE INC.

Olivier, L. (2007). *Biomedical device for treating by virtual immersion*. US7946974B2. USA: WARCOIN, Jacques.

K. S. Dhanasree, K. K. Nisha and R. Jayakrishnan, "Hospital Emergency Room Training Using Virtual Reality and Leap Motion Sensor," 2018 Second International Conference on Intelligent Computing and Control Systems (ICICCS), 2018.

Todd P. Chang, Debra Weiner, Screen-Based Simulation and Virtual Reality for Pediatric Emergency Medicine, *Clinical Pediatric Emergency Medicine*, Volume 17, Issue 3, 2016, Pages 224-230.

Sapkaroski D, Baird M, McInerney J, Dimmock MR. The implementation of a haptic feedback virtual reality simulation clinic with dynamic patient interaction and communication for medical imaging students. *J Med Radiat Sci*. 2018.

Ministerio de salud de Colombia.

Descargado de:

https://docs.supersalud.gov.co/PortalWeb/Juridica/OtraNormativa/R4445_96.pdf.

Universidad Antonio Nariño -Recuperado 2 de octubre de 2021, de <https://www.uan.edu.co/ingenieria-biomedica>

Instituto Tecnológico Metropolitano. <https://www.itm.edu.co/facultades/facultad-de-ciencias-exactas-y-aplicadas-17/formacion-4/ingenieria-biomedica-2/investigacion-9/>
 Universidad Autónoma de Manizales. <https://archivo.autonoma.edu.co/oferta-academica/pregrados/ingenieria-biomedica>

Escuela Colombiana de Carreras Industriales. <https://www.ecci.edu.co/es/Bogota/ingenieria-biomedica-266> language_content_entity=es

Universidad Autónoma de Occidente. https://admisiones.uao.edu.co/ingenieria-biomedica/?origen=PautaGSearch&gclid=CjwKCAjwoP6LBhBIEiwAvCctHFO7QkRwJr mq-eEtqPQkHw_vepXKxOrx7lhPwougKMLSiWSMYy01xoC58wQAvD_BwE

Universidad Manuela Beltrán. <https://umb.edu.co/programa/ingenieria-biomedica/>

Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito.

Escuela de Ingeniería de Antioquia. <https://www.eia.edu.co/ingenieria-biomedica/>.
https://orientacion.universia.net.co/informacion_carreras/pregrado/ingenieria-biomedica-644/escuela-colombiana-de-ingenieria-julio-garavito-2.

Universidad Santiago de Cali. <https://ingenieria.usc.edu.co/index.php/programas/bioingenieria>

Universidad de Antioquia. <https://www.udea.edu.co/wps/portal/udea/web/inicio/unidades-academicas/ingenieria/estudiar-facultad/pregrados/tecnologia-biomedica>

Universidad de los Andes. <https://ingbiomedica.uniandes.edu.co>

Guillén, D. Z. (2011). La realidad virtual como recurso y herramienta útil para la docencia y la investigación. *Revista Iberoamericana de Tecnología en Educación y Educación en Tecnología*, (6), 17-23.

Wang, Minhan. (2020). Social VR: A New Form of Social Communication in the Future or a Beautiful Illusion? *Journal of Physics: Conference Series*. 1518. 012032. [10.1088/1742-6596/1518/1/012032](https://doi.org/10.1088/1742-6596/1518/1/012032).

Lowood, Henry E. "virtual reality". *Encyclopedia Britannica*, 13 May. 2021, <https://www.britannica.com/technology/virtual-reality>. Accessed 2 November 2021.

Alqahtani, A. S., Daghestani, L. F., & Ibrahim, L. F. (2017, 8 junio). Environments and System Types of Virtual Reality Technology in STEM: A Survey. *(IJACSA) International Journal of Advanced Computer Science and Applications*, 8(6). https://thesai.org/Downloads/Volume8No6/Paper_10-Environments_and_System_Types_of_Virtual_Reality.pdf

Blender Foundation. (s. f.). blender.org - Home of the Blender project - Free and Open 3D Creation Software. Blender.Org. Recuperado 2 de noviembre de 2021, de <https://www.blender.org>

Hon, D.C (2000). selectable instruments with homing devices for haptic virtual reality medical simulation. ID. US6113395a. Estados Unidos.

Aluck, r.s(2006). portable virtual reality medical demonstration and training apparatus. id us2006084050a1. estados unidos san jose, ca (2011). medical simulation interfaz apparatus. ID. US8007282b2. USA

J K Anthony (2016). well-managed virtual hospital. idus20060004555. usa

S T Joseph, (2016). hybrid physical-virtual reality simulation for clinical training capable of providing feedback to a physical anatomic model. ID. US2016203737a1. USA

Gabcan L., D. S. (2003). Virtual reality as a training tool in a hospital simulation.2003 Summer Computer Simulation Conference (págs.807-812). RJ, Brasil: The Society for Modeling and Simulation International.

Gonzalez Izard S., V. V. (2020). Virtual Reality in Higher Education: An Experience with Medical Students: Research into how Virtual Reality can be used as a powerful training tool for medical students. 8th International Conference on Technological Ecosystems for Enhancing Multiculturality, TEAM (págs.414-421). España: ACM International Conference Proceeding Series.

Gabcan L., D. S. (2003). Virtual reality as a training tool in a hospital simulation.2003 Summer Computer Simulation Conference (págs.807-812). RJ, Brasil: The Society for Modeling and Simulation International.